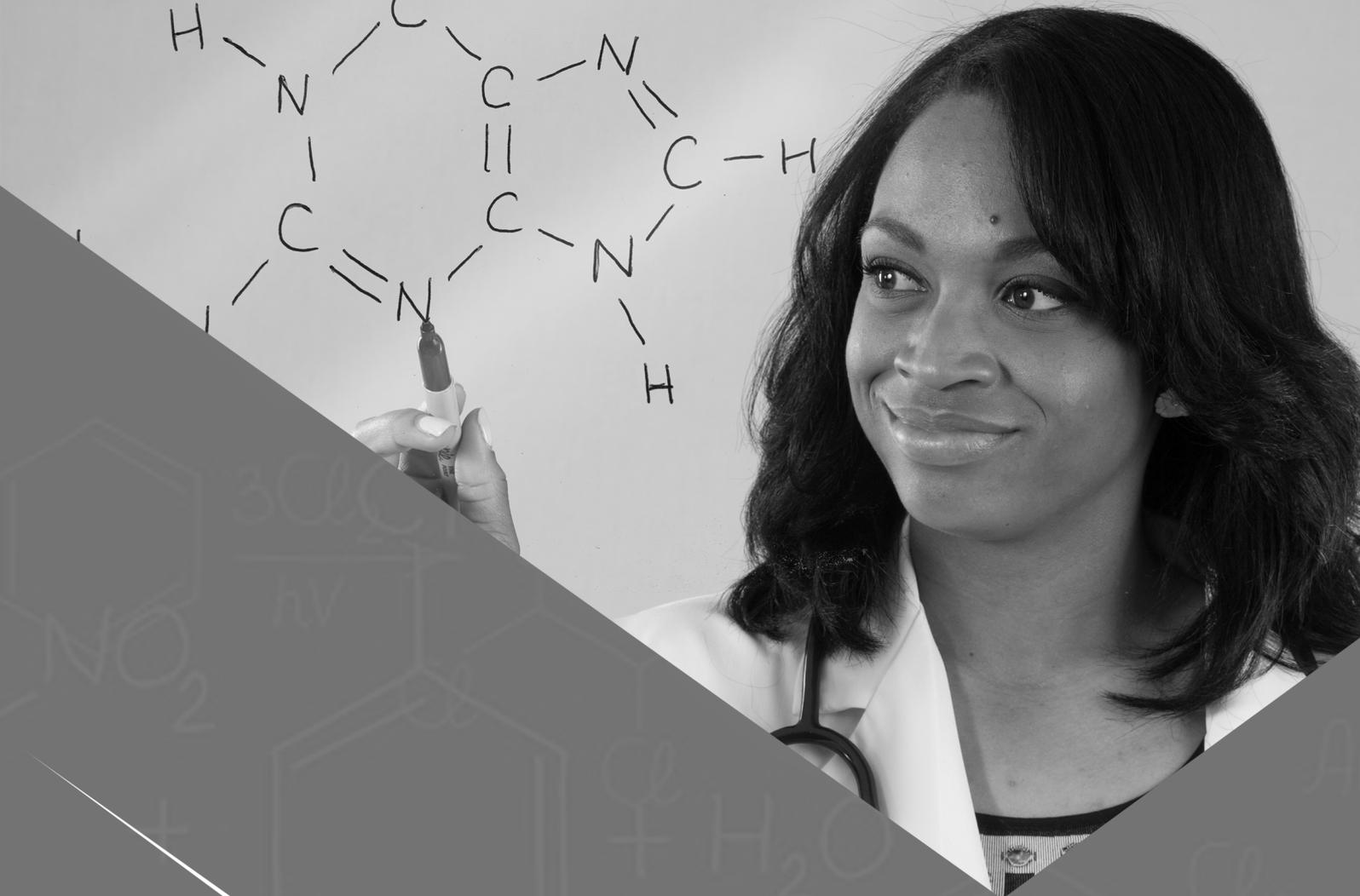


Atena
Editora
Ano 2020

Carmen Lúcia Voigt
(Organizadora)

Atividades de Ensino e de Pesquisa em Química 2



Atena
Editora
Ano 2020

Carmen Lúcia Voigt
(Organizadora)

Atividades de Ensino e de Pesquisa em Química 2

2020 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2020 Os autores

Copyright da Edição © 2020 Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação: Geraldo Alves

Edição de Arte: Lorena Prestes

Revisão: Os Autores



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

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

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins

Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas

Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso

Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior – Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais

Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília

Prof. Dr. Carlos Antonio de Souza Moraes – Universidade Federal Fluminense

Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa

Profª Drª Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará

Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia

Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá

Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima

Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões

Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná

Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionale delle Figlie di Maria Ausiliatrice

Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense

Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso

Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins

Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Universidade Federal do Maranhão

Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará

Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste

Profª Drª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia

Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador

Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará

Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

Prof. Dr. William Cleber Domingues Silva – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano

Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás

Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná

Profª Drª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Profª Drª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Profª Drª Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

Ciências Biológicas e da Saúde

Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília
Profª Drª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Profª Drª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília
Profª Drª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federaci do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto
Prof. Dr. Alexandre Leite dos Santos Silva – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás
Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Conselho Técnico Científico

Prof. Msc. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo
Prof. Msc. Adalberto Zorzo – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza
Prof. Dr. Adailson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba
Prof. Msc. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Profª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Profª Msc. Bianca Camargo Martins – UniCesumar
Prof. Msc. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Msc. Cláudia de Araújo Marques – Faculdade de Música do Espírito Santo
Prof. Msc. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará
Profª Msc. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil
Prof. Msc. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita
Prof. Msc. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária
Prof. Msc. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná
Prof^a Msc. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia
Prof. Msc. José Messias Ribeiro Júnior – Instituto Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco
Prof. Msc. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof^a Msc. Lilian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará
Prof^a Msc. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ
Prof^a Dr^a Lívia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás
Prof. Msc. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados
Prof. Msc. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Msc. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados
Prof^a Msc. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal
Prof^a Msc. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

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

A872 Atividades de ensino e de pesquisa em química 2 [recurso eletrônico]
/ Organizadora Carmen Lúcia Voigt. – Ponta Grossa, PR: Atena
Editora, 2019. – (Atividades de Ensino e de Pesquisa em
Química; v. 2)

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader.

Modo de acesso: World Wide Web.

Inclui bibliografia

ISBN 978-85-7247-929-5

DOI 10.22533/at.ed.295201701

1. Química – Pesquisa – Brasil. I. Voigt, Carmen Lúcia. II. Série.
CDD 540

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná - Brasil
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

O ensino é o processo de construção do saber com a apropriação do conhecimento historicamente produzido pela humanidade. A Química representa uma parte importante de todas as ciências naturais, básicas e aplicadas. O Ensino de Química contribui para formação de cidadãos conscientes, ou seja, ensinar Química com um intuito primordial de desenvolver a capacidade de participar criticamente nas questões da sociedade. A abordagem aplicada em sala de aula deve conter informações químicas fundamentais que forneçam uma base para participação nas decisões da sociedade, cômnicos dos efeitos de suas decisões.

Assim, este e-book possui vários trabalhos selecionados que abordam o Ensino de Química, utilizando metodologias e ferramentas facilitadoras do processo de ensino-aprendizagem. Além destes trabalhos, são apresentados neste volume Pesquisas em Química.

A pesquisa é o processo de materialização do saber a partir da produção de novos conhecimentos baseando-se em problemas emergentes da prática social. As pesquisas em Química abrangem diversas outras áreas do conhecimento, podendo estar relacionadas ao avanço tecnológico, otimização de técnicas e processos, melhoria de produtos, entre outros.

Este e-book traz para você leitor uma oportunidade de aperfeiçoar seus conhecimentos em relação ao Ensino de Química e às Pesquisas em Química, fortalecendo ações de ensino-aprendizagem para aplicação em sala de aula, assim como abrindo novos horizontes sobre sínteses, processos e propriedades de produtos para aplicação em benefício da sociedade e meio ambiente.

Bons estudos.

Carmen Lúcia Voigt

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
BARALHO DA TABELA PERIÓDICA: CONTRIBUIÇÕES PARA O ENSINO E APRENDIZAGEM DAS PROPRIEDADES PERIÓDICAS DA TABELA PERIÓDICA	
João M. L. Rocha Francisco C. S Neto Thaylon R. Silva Ruan R. C Nascimento Elismar A. Brito Roosman Q. Barreira Endyorry B. Oliveira Tatiani da Luz Silva	
DOI 10.22533/at.ed.2952017011	
CAPÍTULO 2	14
JOGO DIDÁTICO COMO FERRAMENTA FACILITADORA DO ENSINO DE QUÍMICA PARA ALUNOS DO 3º ANO DO ENSINO MÉDIO	
Amanda Resende Torres Maria Rosa Galvão Pires Neta Rosana Mendes de Matos Privado	
DOI 10.22533/at.ed.2952017012	
CAPÍTULO 3	27
FLUORESCÊNCIA: EM BUSCA DE UM APRENDIZADO MAIS DINÂMICO E COMPREENSÍVEL	
Jailson Silva Damasceno Nazaré Souza Almeida Ziran Cardoso Balieiro Adriana Lucena de Sales Emmanuele Maria Barbosa Andrade	
DOI 10.22533/at.ed.2952017013	
CAPÍTULO 4	35
QUÍMICA DOS CARBOIDRATOS: ESTUDO DAS FUNÇÕES BIOLÓGICAS E ASSOCIAÇÃO COM O BEM ESTAR COMO PROPOSTA DE ENSINO	
Jailson Silva Damasceno Nazaré Souza Almeida Manoela dos Santos Assunção Adriana Lucena de Sales	
DOI 10.22533/at.ed.2952017014	
CAPÍTULO 5	44
UTILIZAÇÃO DO GÊNERO PALAVRAS CRUZADAS NO ENSINO DE QUÍMICA GERAL	
Natália Eduarda da Silva, Natali Eduarda da Silva Felipe Ferreira da Silva	
DOI 10.22533/at.ed.2952017015	

CAPÍTULO 6	48
PRODUÇÃO DE PAPEL INDICADOR ÁCIDO-BASE A PARTIR DO EXTRATO DE REPOLHO ROXO	
Diego Rodrigues de Carvalho Caroline França Agostinho Yasmin Paiva da Silva Carvalho	
DOI 10.22533/at.ed.2952017016	
CAPÍTULO 7	60
MANUSEIO E ARMAZENAMENTO DE PRODUTOS QUÍMICOS: DIAGNOSTICANDO CONHECIMENTOS	
Juracir Francisco de Brito Angélica de Brito Sousa Laisse Cristine de Sousa Darlisson Slag Neri Silva Hudson de Carvalho Silva Jardel Meneses Rocha José Milton Elias de Matos	
DOI 10.22533/at.ed.2952017017	
CAPÍTULO 8	72
PERFIL DE LEITORES NO CURSO DE LICENCIATURA EM QUÍMICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO (UFMA) – CAMPUS GRAJAÚ	
Maria Rosa Galvão Pires Neta Amanda Resende Torres Camila Jorge Pires Rosana Mendes de Matos Privado	
DOI 10.22533/at.ed.2952017018	
CAPÍTULO 9	81
SÍNTESE E FATORES QUE AFETAM O COMPORTAMENTO ASSOCIATIVO DE POLÍMEROS TERMOVISCOSIFICANTES	
Nívia do Nascimento Marques Rosângela de Carvalho Balaban	
DOI 10.22533/at.ed.2952017019	
CAPÍTULO 10	100
SÍNTESE DE COMPOSTOS HÍBRIDOS CHALCONAS-DIPIRIDINONAS VIA REAÇÃO DE HUISGEN	
Eduardo Bustos Mass Dennis Russowsky	
DOI 10.22533/at.ed.29520170110	
CAPÍTULO 11	113
ESTUDO DA PRODUÇÃO DE CELULASES POR FERMENTAÇÃO EM ESTADO SÓLIDO UTILIZANDO CASCA DE CACAU E BAGAÇO DE CANA COMO SUBSTRATO	
Isabela NascimentoTavares Ferreira Viviane Marques de Oliveira Iara Rebouças Pinheiro	
DOI 10.22533/at.ed.29520170111	

CAPÍTULO 12 123

OBTENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE MICROESFERAS DE QUITOSANA: UM ESTUDO PARA LIBERAÇÃO DE FÁRMACOS ANTI-INFLAMATÓRIOS

Maria Helena de Sousa Barroso
Michelle Lemes Pereira
Karla da Silva Malaquias

DOI 10.22533/at.ed.29520170112

CAPÍTULO 13 140

PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA DE BIOCAMPÓSITOS À BASE DE QUITOSANA E HIDROXIAPATITA PARA APLICAÇÕES NA ENGENHARIA TECIDUAL ÓSSEA

Adonias Almeida Carvalho
Ricardo Barbosa de Sousa
Jean Claudio Santos Costa
Mariana Helena Chaves
Edson Cavalcanti da Silva Filho

DOI 10.22533/at.ed.29520170113

CAPÍTULO 14 151

OTIMIZAÇÃO DE PROCESSAMENTO DE COMPONENTES AERONÁUTICOS FABRICADOS EM COMPÓSITOS POLIMÉRICOS VIA ESTUDOS REO-CINÉTICOS

Michelle Leali Costa
Mirabel Cerqueira Rezende
Edson Cochieri Botelho

DOI 10.22533/at.ed.29520170114

CAPÍTULO 15 166

DECOMPOSIÇÃO DE FOSFONATOS: USO COMO INICIADORES CATALÍTICOS DE POLIMERIZAÇÃO

Rafael O. Figueiredo

DOI 10.22533/at.ed.29520170115

CAPÍTULO 16 172

CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS, FÍSICAS E BIOLÓGICAS DOS ÁCIDOS HÚMICOS E SEUS EFEITOS EM PLANTAS

Tadeu Augusto van Tol de Castro
Débora Fernandes da Graça Mello
Orlando Carlos Huertas Tavares
Thainá Louzada dos Santos
Danielle França de Oliveira
Octavio Vioratti Telles de Moura
Hellen Fernanda Oliveira da Silva
Anne Caroline Barbosa de Paula Lima
Tamiris Conceição de Aguiar
Lucas de Souza da Silva
Raphaella Esterque Cantarino
Andrés Calderín García

DOI 10.22533/at.ed.29520170116

CAPÍTULO 17	189
ÓLEO ESSENCIAL DAS FOLHAS DE <i>Eugenia astringens</i> CAMBESS. ANÁLISE QUANTITATIVA (CG-EM) E POTENCIAL BIOLÓGICO	
Alaide de Sá Barreto Glaucio Diré Feliciano Patrícia Reis Pinto Taiane Borges Machado Silva Marcelo Raul Romero Tappin Rafaella Cruz de Azevedo Silva Adélia Maria Belem Lima Marcelo da Costa Souza.	
DOI 10.22533/at.ed.29520170117	
CAPÍTULO 18	201
PROCESSAMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE MEMBRANAS ANISOTRÓPICAS POROSAS DE POLICARBONATO/SEPIOLITA	
Nayara Conti Costa Caio Marcio Paranhos	
DOI 10.22533/at.ed.29520170118	
CAPÍTULO 19	209
SECAGEM DE POLPA DE PITANGA - ANÁLISE DO DESEMPENHO DO SECADOR POR ATOMIZAÇÃO COMPARATIVAMENTE AO SECADOR DE LEITO DE JORRO	
Amanda Beatriz Monteiro Lima Emanuelle Maria de Oliveira Paiva Yuri Souza Araújo Maria de Fátima Dantas de Medeiros	
DOI 10.22533/at.ed.29520170119	
CAPÍTULO 20	219
PROPRIEDADES MECÂNICAS DE FILMES DE AMIDO/QUITOSANA ADICIONADOS DE ÁCIDO CÍTRICO	
Renata Paula Herrera Brandelero Alexandre da Trindade Alfaro Evandro Martin Brandelero	
DOI 10.22533/at.ed.29520170120	
CAPÍTULO 21	227
PROPRIEDADES MECÂNICAS E ESTRUTURAIS DE FILMES À BASE DE ACETATO DE CELULOSE INCORPORADOS COM DIFERENTES ARGILAS	
Pedro Augusto Vieira de Freitas Taíla Veloso de Oliveira Nelson Soares Júnior Nilda de Fátima Ferreira Soares	
DOI 10.22533/at.ed.29520170121	
CAPÍTULO 22	238
ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA APLICADO ÀS CARACTERÍSTICAS DO RIO CACHOEIRA NO TRECHO ILHÉUS – ITABUNA NO ESTADO DA BAHIA: UMA DISCUSSÃO SOBRE MONITORAMENTO AMBIENTAL	
Arthur Lima Machado de Santana	

Alice Guerra Macieira Macêdo
Andreza Bispo dos Santos
Mauro de Paula Moreira

DOI 10.22533/at.ed.29520170122

CAPÍTULO 23 249

DETERMINAÇÃO DE CÁDMIO EM HORTALIÇAS COMERCIALIZADAS NA REGIÃO METROPOLITANA DE BELÉM DO PARÁ

Sara Emily Teixeira de Souza
Charles Miller de Souza Borges
Rafael Gonçalves Pontes
Kelly das Graças Fernandes Dantas

DOI 10.22533/at.ed.29520170123

CAPÍTULO 24 256

ANÁLISES DE PARÂMETROS MICROBIOLÓGICOS DE POLPAS IN NATURA DE “BACURI, CUPUAÇU E GRAVIOLA” COMERCIALIZADAS NOS MERCADOS MUNICIPAIS DE SÃO LUÍS - MA

Sayna Kelleny Peixoto Viana
Ítalo Prazeres da Silva
Isabel Azevedo Carvalho
Viviane Correa Silva Coimbra

DOI 10.22533/at.ed.29520170124

CAPÍTULO 25 267

DETERMINAÇÕES SENSORIAIS, FÍSICO-QUÍMICAS E MICROBIOLÓGICAS DE ÁGUAS DE BEBEDOUROS DO CAMPUS PAULO VI DA UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO - UEMA

Fabrcia Fortes dos Santos
Ítalo Prazeres da Silva
Vívian Freire Barbosa Penha Freire
Viviane Correa Silva Coimbra

DOI 10.22533/at.ed.29520170125

CAPÍTULO 26 278

QUALIDADE FÍSICO-QUÍMICA DE CACHAÇAS ARTESANAIS E TIQUIRA COMERCIALIZADAS EM SÃO LUÍS-MA

Maria Laryssa Costa de Jesus
Ítalo Prazeres da Silva
Danilo Cutrim Bezerra
Nancyleni Pinto Chaves Bezerra
Viviane Correa Silva Coimbra

DOI 10.22533/at.ed.29520170126

SOBRE A ORGANIZADORA..... 289

ÍNDICE REMISSIVO 290

CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS, FÍSICAS E BIOLÓGICAS DOS ÁCIDOS HÚMICOS E SEUS EFEITOS EM PLANTAS

Data de aceite: 05/12/2019

Tadeu Augusto van Tol de Castro

UFRRJ – IA – Departamento de Solos – Lab. de
Química Biológica do Solo
<http://lattes.cnpq.br/6353947754324048>

Débora Fernandes da Graça Mello

UFRRJ – IA – Departamento de Solos – Lab. de
Química Biológica do Solo
<http://lattes.cnpq.br/1460127973103240>

Orlando Carlos Huertas Tavares

UFRRJ – IA – Departamento de Solos – Lab. de
Química Biológica do Solo
<http://lattes.cnpq.br/6517289620714369>

Thainá Louzada dos Santos

UFRRJ – IA – Departamento de Solos – Lab. de
Química Biológica do Solo
<http://lattes.cnpq.br/3454701290869411>

Danielle França de Oliveira

UFRRJ – IA – Departamento de Solos – Lab. de
Química Biológica do Solo
<http://lattes.cnpq.br/5563595706020944>

Octavio Vioratti Telles de Moura

UFRRJ – IA – Departamento de Solos – Lab. de
Química Biológica do Solo
<http://lattes.cnpq.br/3744231851679666>

Hellen Fernanda Oliveira da Silva

UFRRJ – IA – Departamento de Solos – Lab. de
Química Biológica do Solo
<http://lattes.cnpq.br/8215713473257692>

Anne Caroline Barbosa de Paula Lima

UFRRJ – IA – Departamento de Solos – Lab. de
Química Biológica do Solo
<http://lattes.cnpq.br/5224608237548079>

Tamiris Conceição de Aguiar

UFRRJ – IA – Departamento de Solos – Lab. de
Química Biológica do Solo
<http://lattes.cnpq.br/0603621640023337>

Lucas de Souza da Silva

UFRRJ – IA – Departamento de Solos – Lab. de
Química Biológica do Solo
<http://lattes.cnpq.br/3760372132788863>

Raphaella Esterque Cantarino

UFRRJ – IA – Departamento de Solos – Lab. de
Química Biológica do Solo
<http://lattes.cnpq.br/4832469430969322>

Andrés Calderín García

UFRRJ – IA – Departamento de Solos – Lab. de
Química Biológica do Solo
<http://lattes.cnpq.br/8896375232574274>

RESUMO: A matéria orgânica humificada presente nos solos e sedimentos é resultante da degradação química e biológica de resíduos vegetais, animais e da atividade de microrganismos. As substâncias húmicas (SH) possuem a capacidade de afetar o crescimento e desenvolvimento de diversas espécies de plantas cultivadas em vários tipos de solo, substratos inertes e meios hidropônicos. É indiscutível que os ácidos húmicos (AH) exercem

diversos efeitos positivos em plantas, porém o mecanismo pelos quais atuam ainda não estão totalmente elucidados. O objetivo desta revisão foi discutir as principais características da matéria orgânica humificada e dos ácidos húmicos, assim como os diversos efeitos desencadeados pela bioatividade e possíveis mecanismos de ação dessas supramoléculas em plantas. Os efeitos dos AH mais observados em plantas estão ligados ao sistema radicular, através da indução à formação de raízes laterais e adventícias, e pelo estímulo ao alongamento e espessamento das raízes, o que resulta em maior área e volume. Os ácidos húmicos atuam em diversos níveis de organização e de etapas relacionadas a fisiologia das plantas, como expressão de genes, efeitos sobre o metabolismo primário e secundário, crescimento e desenvolvimento, e produção. Os efeitos diretos dos AH sobre as plantas são resultados dos benefícios sobre o transporte iônico, o que facilita a absorção de nutrientes; do aumento da respiração e da velocidade de reações enzimáticas no ciclo de Krebs, o que estimula a produção de ATP; do aumento dos teores de pigmentos fotossintéticos; do efeito sobre a síntese de proteínas; e do estímulo ou inibição da atividade de diversas enzimas. A utilização de substâncias húmicas, principalmente de ácidos húmicos, como bioestimulantes na produção agrícola vem crescendo cada vez mais nos últimos anos, sendo de suma importância uma compreensão cada vez mais ampla sobre a atividade biológica exercida por essas substâncias.

PALAVRAS-CHAVE: Matéria orgânica, substâncias húmicas, bioatividade.

ABSTRACT: The humified organic matter present in soils and sediments is the result of chemical and biological degradation of plants, animals and microorganism activity. Humic substances (HS) have the ability to affect the growth and development of various plant species cultivated in various soil types, inert substrates and hydroponic media. There is no doubt that humic acids (HA) have several positive effects on plants, but the mechanism by which they act is not yet fully understood. The aim of this review was to discuss the main characteristics of humified organic matter and humic acids, as well as the various effects triggered by bioactivity and possible mechanisms of action of these supramolecules in plants. The most commonly observed effects of HA on plants are linked to the root system by inducing the formation of lateral and adventitious roots, and by stimulating root elongation and thickening, which results in a greater root area and volume. Humic acids act at various levels of organization and stages related to plant physiology, such as gene expression, effects on primary and secondary metabolism, growth and development, and production. The direct effects of HA on plants are the result of benefits on ion transport, which facilitates nutrient absorption; increased breathing and the speed of enzymatic reactions in the Krebs cycle, which stimulates ATP production; increased levels of photosynthetic pigments; the effect on protein synthesis; and stimulating or inhibiting the activity of various enzymes. The use of humic substances, especially humic acids, as biostimulants in agricultural production has been increasing in the last years, and a growing understanding of the bioactivity exerted by these substances is of paramount importance.

KEYWORDS: Organic matter, humic substances, bioactivity.

INTRODUÇÃO

A matéria orgânica humificada, também conhecida como substâncias húmicas (SH), corresponde à maior parte da matéria orgânica, sendo o restante classificado como matéria orgânica não humificada. As SH são originadas por transformações de resíduos orgânicos, resultando em uma supramolécula, com predomínio estrutural de polissacarídeos, polipeptídeos, éteres, ésteres, álcoois, ácidos alifáticos e anéis aromáticos (MUSCOLO & SIDARI, 2009; MORA et al., 2010; CANELLAS et al., 2012).

A maior fração das SH corresponde aos ácidos húmicos (AH), sendo o principal alvo de estudos na área. Estruturalmente, os ácidos húmicos e fúlvicos são similares, apresentado suas principais diferenças no peso molecular e grupos funcionais. Em meio fortemente ácido os AH encontram-se insolubilizados, pois com a protonação dos grupos funcionais as estruturas colapsam e ocorre precipitação das moléculas. Esta fração húmica é a mais reativa e estável da matéria orgânica humificada (CANELLAS et al., 2001; JANNIN et al., 2012).

Os ácidos húmicos apresentam complexa bioatividade, desencadeando efeitos distintos sobre o desenvolvimento vegetal, atuando nas plantas de forma direta e indireta, sendo diretamente pelas modificações na arquitetura e no metabolismo vegetal e indiretamente pelas melhorias ocorridas no solo (MUSCOLO et al., 2007; BALDOTTO & BALDOTTO, 2014).

Nas últimas décadas houve um crescente aumento no que diz respeito a estudos envolvendo a atividade resultante da aplicação de ácidos húmicos em plantas. Os efeitos mais expressos e observados em estudos estão relacionados ao sistema radicular, pelo estímulo à emissão, alongamento e espessamento de raízes, refletindo em uma maior área e volume radicular (TREVISAN et al., 2009; CANELLAS et al., 2011; BALDOTTO et al., 2012; TAVARES, 2014; GARCÍA, 2016b; GARCÍA, 2018).

Além dos estímulos radiculares, diversos autores observaram aumento na atividade de enzimas relacionadas ao sistema oxidativo, ao metabolismo do carbono e do nitrogênio, melhoria no desenvolvimento de plantas cultivadas em meio contaminado com metais pesados, aumento na síntese e atividade de bombas de prótons, aumento no teor de nutrientes foliares, estímulo na síntese de pigmentos fotossintéticos, incremento da fotossíntese e aumento da massa vegetal e da produção de flores, frutos e sementes (FAÇANHA et al., 2002; VACCARO et al., 2009; MORA et al., 2010; GARCÍA et al. 2012; JANNIN et al., 2012; CANELLAS et al., 2013; GARCÍA, 2013; SERGIEV et al. 2013; BALDOTTO & BALDOTTO, 2014; GARCÍA et al., 2016; GARCÍA et al., 2018).

É indiscutível a ocorrência de diversos efeitos positivos acarretados pelas SH, tanto no solo como nas plantas. Cada vez mais estudos têm sido realizados nesta área,

visando compreender os mecanismos pelos quais os AH exercem sua bioatividade. A atividade biológica destas supramoléculas está diretamente associada à sua origem, tamanho molecular, composição, estrutura e concentração. É essencial uma melhor compreensão sobre a bioatividade exercida pelas SH, para que assim haja uma aplicação efetiva e objetiva na produção e desenvolvimento agrícola.

Esta revisão teve como objetivo conceituar e elencar algumas características físicas, químicas e biológicas da matéria orgânica humificada, assim como da fração reativa mais expressiva, os ácidos húmicos (AH), além de apresentar diversos efeitos desencadeados em plantas observados pela aplicação dessas substâncias.

MATÉRIA ORGÂNICA HUMIFICADA

A matéria orgânica possui fundamentalmente dois grupos, o das substâncias não-humificadas e o das substâncias húmicas (SH). O primeiro é formado por compostos quimicamente definidos, geralmente incolores, simples e de baixo peso molecular, utilizados como substrato por microrganismos, sendo assim, de existência transitória. Alguns exemplos são os aminoácidos, proteínas, álcoois, ligninas e aldeídos. As SH constituem aproximadamente 60% da matéria orgânica, sendo amplamente distribuídas no planeta, estando presentes no solo, na água e nos sedimentos, e representam o maior reservatório de carbono orgânico da Terra (MUSCOLO et al., 2007; MUSCOLO & SIDARI, 2009).

Musco et al. (2007) afirmam que as SH são formadas por transformação química e biológica de matéria vegetal e animal, e de metabolismo microbiano, resultando em uma estrutura supramolecular composta por moléculas heterogêneas, de coloração escura e maior estabilidade e peso molecular, interagindo em função do seu tamanho, forma, afinidade química e hidrofobicidade.

Piccolo (2016) caracteriza o processo de humificação como dinâmico, ocorrendo interação por forças covalentes, forças de van der Waals, ligações π - π e CH- π , entre biomoléculas, lipídeos, polissacarídeos, DNA, RNA, entre outros, originando uma molécula supraestrutural.

Os principais componentes moleculares das substâncias húmicas são os ácidos alifáticos, os éteres, os ésteres, os álcoois, os anéis aromáticos, os polissacarídeos e os polipeptídeos. Embora as ações funcionais dessas substâncias sofram influência direta pela configuração química que apresentam em solução, as relações entre atividade e estrutura não são claras (MORA et al., 2010; CANELLAS et al., 2012).

Existem pelo menos quatro vias principais responsáveis pela formação das substâncias húmicas: a partir de açúcares, polifenóis, lignina e ligninas modificadas; sendo o grau de ocorrência de cada uma dependente das características predominantes do ambiente durante o processo de decomposição. As quatro vias

podem ocorrer simultaneamente, porém não com a mesma intensidade. Todos os mecanismos de formação envolvem ação microbiana sobre o resíduo inicial e posterior incorporação de compostos nitrogenados (ROSA, 2001; SANTOS, 2014).

A matéria orgânica humificada é dividida classicamente em três principais frações com distintas características físico-químicas, baseando-se em suas propriedades de solubilidade. São usualmente classificadas como: ácido fúlvico (AF), fração solúvel em meios alcalino e ácido; ácido húmico (AH), fração solúvel em meio alcalino e insolúvel em meio ácido ($\text{pH} < 2$); e humina, fração insolúvel em qualquer condição de pH (BOTERO, 2010).

No entanto, alguns autores defendem que as huminas não satisfazem a definição clássica de substâncias húmicas, pois estas parecem estar compostas por uma mistura complexa de agregados estáveis de biomoléculas e não de material humificado, podendo corresponder basicamente a fragmentos de ácidos húmicos fortemente ligados à fração mineral do solo (SIMPSON et al., 2007; GARCÍA et al., 2016b).

A possibilidade de isolar a partir da matéria orgânica humificada as frações fundamentais das substâncias húmicas, permitiu o avanço no estudo e conhecimento sobre suas estruturas, propriedades e funções, sendo os ácidos húmicos e ácidos fúlvicos os maiores alvos de interesse e pesquisa. As características relacionadas a estrutura das frações húmicas são dependentes da fonte de origem e do período de formação ou transformação (GARCÍA, 2013).

Processos químicos, físicos e espectroscópicos aplicados com êxito em pesquisas envolvendo macromoléculas têm sido utilizados para estudos com substâncias húmicas, visando estabelecer a composição e estrutura geral da molécula, assim como justificar as diversas propriedades que elas apresentam. Os estudos dessas substâncias vão desde os métodos de extração, fracionamento e purificação até a caracterização. Os métodos de extração mais utilizados são Kononova, Dabin, Danneberg & Ullah, Schnitzer, Swift, Benites e os de purificação são os com ácido fluorídrico (HF), resina DAX-8 e diálise, além do processo de liofilização (PRIMO, MENEZES & SILVA, 2011; CANELLAS et al., 2012). Segundo García (2013) dentre as técnicas de caracterização estruturais mais utilizadas estão: as espectrofotométricas (UV-vis e Fluorescência), as espectroscópicas (FTIR, RMN¹³C e ¹H), as espectrométricas (espectrometria de massas), as cromatográficas (HPSEC) e as microscópicas (MEV), assim como as diferentes combinações destas.

Mesmo com todas as contradições existentes em relação ao modelo estrutural, algumas características das SH já estão esclarecidas: a) os ácidos húmicos e ácidos fúlvicos são misturas heterogêneas de moléculas polidifusas, com intervalos de massa molar variando de algumas centenas até milhares (STEVENSON, 1982); b) existem alterações na razão entre ácido húmico e ácido fúlvico em função do material

de origem. Essa razão está associada ao grau de humificação do mesmo (ROCHA, ROSA & FURLAN, 1998).

Segundo Sposito (2004), as substâncias húmicas possuem quatro principais propriedades de acordo com a estrutura que apresentam: polifuncionalidade, caracterizada por um grande número de grupos funcionais que proporcionam amplo espectro de reatividade; carga macromolecular negativa, que permite maior reatividade com outras moléculas; hidrofiliçidade, que corresponde a tendência de formar fortes pontes de hidrogênio com a água; e maleabilidade estrutural, que diz respeito a capacidade de associação intermolecular e alteração na conformação da molécula em função da variação de pH, dos valores de redox, da concentração eletrolítica e da ligação com grupamentos funcionais.

Diversos estudos relatam a capacidade de SH de diferentes origens em aumentar a agregação do solo, retenção de água, trocas iônicas e complexação de íons tóxicos no solo. São substâncias consideradas bioestimulantes por promoverem o desenvolvimento vegetal por meio de pequenas quantidades. Nas plantas modificam a morfologia, crescimento e a arquitetura das raízes, atuam sobre o desenvolvimento da planta, aumentam a taxa respiratória e estimulam o ciclo de Krebs, a fotossíntese e a produção de adenosina trifosfato e aminoácidos (MUSCOLO et al., 2007; TREVISAN et al., 2009; JANNIN et al., 2012).

A aplicação de substâncias húmicas em cultivos e sua capacidade para atuarem como promotores de crescimento em plantas têm criado progressivamente maior interesse na agricultura. Essas moléculas possuem importância ecológica, pois regulam uma série de processos químicos e biológicos ocorrentes em ecossistemas naturais. Ainda não foram desenvolvidas, devido à complexidade molecular, técnicas de produção capazes de controlar a atividade dessas substâncias. O estabelecimento de relações entre estrutura e bioatividade das SH é fundamental para desenvolver recursos que possam ser utilizados na produção e desenvolvimento agrícola (MORA et al., 2012; CANELLAS et al., 2012; AGUIAR et al., 2013).

ÁCIDOS HÚMICOS

Os efeitos desencadeados pelos ácidos orgânicos, principalmente pelos ácidos húmicos, direcionaram a atenção da comunidade científica a partir da década de 40, quando o Dr. Leonard constatou as excelentes características agronômicas resultantes de minerais lignitos, com elevado grau de oxidação, para o solo e plantas. Estes minérios apresentavam abundância na quantidade de ácidos húmicos, que posteriormente passou a ser conhecido como leonardita (FILHO & SILVA, 2017).

Os ácidos húmicos (AH) englobam a maior fração das substâncias húmicas, sendo o principal foco de estudos na área. Estruturalmente, as três frações húmicas

possuem similaridades, diferindo principalmente em peso molecular e grupos funcionais. Os AH são insolúveis em meio fortemente ácido, pois com a protonação dos grupamentos funcionais ocorre o colapso da estrutura e a precipitação das moléculas. Essa substância representa a fração reativa mais estável da matéria orgânica humificada (CANELLAS et al., 2001; JANNIN et al., 2012).

A relação carbono/nitrogênio dos ácidos húmicos é superior em 50% à média encontrada na matéria orgânica, o que lhe atribui maior estabilidade no ambiente. Possuem maior conteúdo de carbono e nitrogênio e menor conteúdo de oxigênio quando comparados aos ácidos fúlvicos, resultando em uma maior massa molecular (FILHO & SILVA, 2017). É possível constatar um estágio de humificação mais avançado devido ao grau de polimerização relativamente maior dos AH, como é demonstrado na Figura 1 através do esquema da evolução contínua das substâncias húmicas, demonstrando a menor estabilidade dos ácidos fúlvicos e maior estabilidade das huminas quando comparados ao AH.

Substâncias húmicas				
ácidos fúlvicos		ácidos húmicos		huminas
Amarelo claro	Amarelo escuro	marrom	Cinza/preto	preto
-----aumento da intensidade de coloração----->----->----->				
-----aumento do grau de polimerização----->----->----->				
-----aumento da massa molecular----->----->----->				
-----aumento no conteúdo de C----->----->----->				
-----diminuição do conteúdo de O----->----->----->				
-----decréscimo na acidez trocável----->----->----->				
-----decréscimo na solubilidade----->----->----->				

Figura 1. Esquema ilustrativo da evolução contínua das substâncias húmicas de acordo com Stevenson (1994).

No contexto químico, os ácidos húmicos são extremamente complexos, integrados por polímeros compostos de cadeias aromáticas e alifáticas com alto peso molecular, e elevada capacidade de troca catiônica (FILHO & SILVA, 2017).

A composição média de uma unidade básica para o ácido húmico, em termo de fórmulas químicas médias é $C_{187}H_{186}O_{89}N_9S$. Esta composição depende da origem, mas geralmente está nas faixas de 53,8 – 58,7% de carbono; 32,8 – 38,3% de oxigênio; 3,2 – 6,2% de hidrogênio; 0,8 – 4,3% de nitrogênio; e 0,4 – 1,0% de enxofre. Apesar da estrutura dos AH não estar completamente elucidada, sabe-se que são formados por agregados heterogêneos, estabilizados por ligações de hidrogênio e interações hidrofóbicas (Figura 2) (SANTOS & CAMARGO, 1999; PICCOLO, 2001; PINHEIRO, 2010).

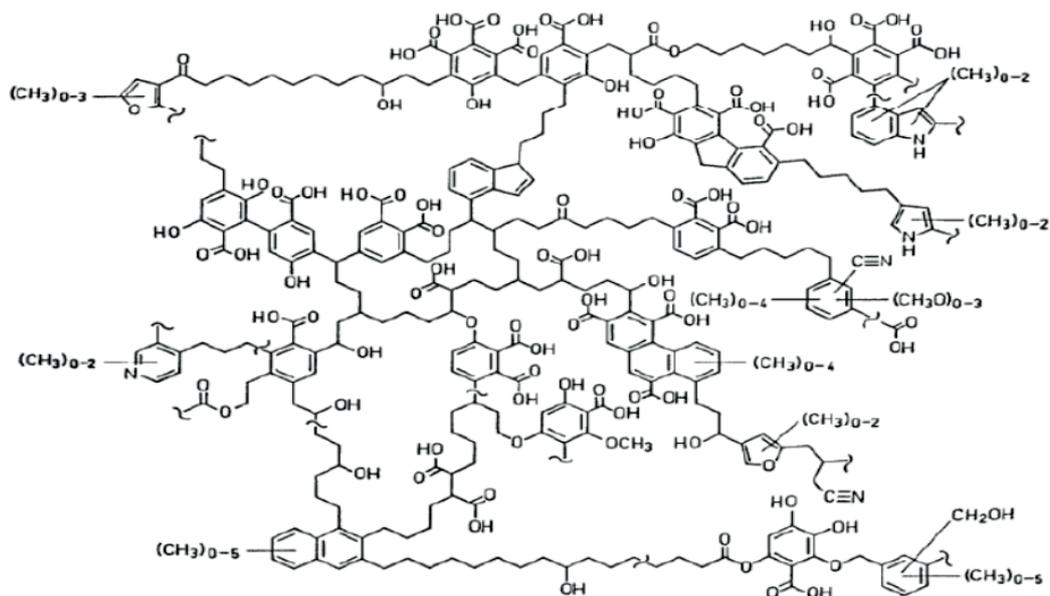


Figura 2. Estrutura bidimensional do ácido húmico elaborada por Schnitzer.

Fonte: PINHEIRO, 2010.

A proeminência dos grupamentos funcionais carboxílicos e de OH-fenólicos exerce significativa responsabilidade na acidez dos ácidos húmicos. Essas moléculas apresentam saldo de carga negativo mesmo em pH ácido, por conta principalmente da ocorrência de dissociação de grupos carboxílicos ($pK < pH$ do solo). Sendo assim, a acidez total dos grupos funcionais encontrados nos ácidos húmicos é normalmente calculada pela soma dos grupamentos carboxílicos e fenólicos (SUTTON & SPOSITO, 2005; SPOSITO, 2008).

Segundo Baldotto & Baldotto (2014) dentre as fontes mais comuns para a extração de ácidos húmicos estão “a leonardita, o carvão, o solo, os resíduos de animais, os compostos orgânicos feitos de húmus de minhoca (vermicomposto), de torta de filtro, de esterco bovino, de cama-de-frango, de resíduos de alimentos, de lixo urbano, de lodo e de sedimentos”. Independente da fonte utilizada, é comum observar que concentrações menores de AH apresentam atividade estimulante na fisiologia vegetal, e que elevadas concentrações resultam em inibição do crescimento e desenvolvimento das plantas (BALDOTTO et al., 2009).

Devido à sensibilidade e alterações no sistema, relacionadas à concentração e às características químicas, os ácidos húmicos tem sido predominantemente escolhidos para avaliar a reatividade da matéria orgânica humificada no ambiente, através da qualidade e quantidade de grupos funcionais presentes em sua estrutura e pela capacidade de prover substâncias bioativas (PICCOLO, 2001; NARDI et al., 2002; CANELLAS et al., 2008).

O custo dos AH é considerado baixo, uma vez que são extraídos de compostos orgânicos e aplicados em baixas concentrações. Seu potencial de uso na conservação

e manejo dos ecossistemas naturais e agrários é promissor, sendo necessários estudos que definam as concentrações a serem aplicadas, os métodos de aplicação e as propriedades a serem avaliadas para sua produção e comercialização (ARANCON et al., 2006; AMERI & TEHRANIFAR, 2012).

BIOATIVIDADE DOS ÁCIDOS HÚMICOS

Os ácidos húmicos possuem atividade biológica bastante complexa, apresentando diferentes efeitos sobre o metabolismo das plantas nos sistemas em que foram testados. Com a decomposição dos resíduos orgânicos não ocorre destruição total das substâncias bioativas, podendo ocorrer modificação destas, e formação de novas moléculas estabilizadas junto às substâncias húmicas. Notadamente, os AH alteram o desenvolvimento das plantas. Estas substâncias interferem indiretamente nas plantas pelos efeitos ocasionados no solo, e diretamente pelas alterações na arquitetura e no metabolismo vegetal (MUSCOLO et al., 2007; BALDOTTO & BALDOTTO, 2014).

No solo, os ácidos húmicos interferem no matiz e no croma, fazendo com que apresente coloração mais escura, o que auxilia na retenção de calor e favorece a germinação, o crescimento e a atividade microbiana. Atuam como agente cimentante formando complexos organo-minerais com argilas, aumentando a estabilidade dos agregados e favorecendo a aeração e manutenção da estrutura do solo. Possuem elevada capacidade de retenção de umidade, auxiliando na proteção contra a erosão e beneficiando as plantas pela liberação gradual de água. Ao ocorrer associação de AH com materiais minerais e sais solúveis, formam-se estruturas insolúveis, evitando a perda de nutrientes por lixiviação. Apresentam função tamponante em amplos intervalos de pH, ajudando a manter o equilíbrio da solução do solo. A degradação destas substâncias promove a liberação de íons e moléculas, fornecendo nutrientes para o crescimento das plantas. São responsáveis pelo incremento da capacidade de troca catiônica e aniônica, protegendo e disponibilizando os íons para as plantas. Além de exercerem função na formação de complexos com espécies metálicas e nutrientes presentes no solo, resultando na detoxificação de íons tóxicos e no aumento da mobilidade de íons (CANELLAS & SANTOS, 2005; SANTOS, 2014; FILHO & SILVA, 2017).

No corpo da planta, os ácidos húmicos exercem influência em níveis distintos de organização e em diversas etapas envolvidas na fisiologia vegetal, como expressão de genes, presença de organelas, metabolismo primário e secundário, crescimento e desenvolvimento, e produção de flores, frutos e sementes (TREVISAN, 2011; JANNIN et al., 2012). Segundo Nannipieri et al.(1993), os efeitos diretos dos AH sobre o metabolismo das plantas, que estimulam o crescimento e desenvolvimento

vegetal, são resultados: da influência positiva sobre o transporte de íons, facilitando a absorção de nutrientes; do aumento da respiração e da velocidade das reações enzimáticas no ciclo de Krebs, aumentando a produção de ATP; do aumento do conteúdo de clorofila; do aumento da síntese de ácidos nucleicos; do efeito seletivo sobre a síntese proteica; e do estímulo ou inibição da atividade de diversas enzimas.

Em estudos realizados por Asli & Neumann (2009) e García et al. (2012, 2014) os autores demonstraram que após a aplicação de ácidos húmicos parece ocorrer um tipo de “estresse coloidal”, havendo aglomeração de fragmentos húmicos com estruturas mais flexíveis, depositando-se na superfície das raízes e causando entupimento dos poros, implicando assim em alterações metabólicas na planta. Foi demonstrado que este processo resulta na regulação dos níveis de EROs e na atividade de enzimas associadas ao metabolismo oxidativo.

Em consequência ao estresse ocasionado pela aglomeração das substâncias húmicas em raízes foram registrados aumento no desenvolvimento e crescimento radicular, e interpretados como um processo de adaptação ao estresse (FERNANDES, SOUZA & SANTOS, 2018). Petrov et al. (2015) afirmam que em determinadas situações alguns níveis de estresse podem resultar em melhorias nas funções metabólicas das plantas, fenômeno conhecido como “eustresse”.

Os efeitos mais observados dos AH nas plantas estão associados ao sistema radicular, através da formação de raízes laterais, adventícias e de pêlos radiculares, e promoção do alongamento da raiz. Estudos realizados por diversos autores demonstraram a expressão desses efeitos no desenvolvimento radicular pela aplicação de substâncias húmicas (SILVA et al., 2000; TREVISAN et al., 2009; CANELLAS et al., 2011; BALDOTTO et al., 2012; TAVARES, 2014; GARCÍA, 2016b; GARCÍA, 2018). Todas essas alterações na morfologia das raízes aumentam a massa e área de superfície radicular, melhorando a eficiência na absorção de água e nutrientes, além de favorecer a interação planta-microrganismo, devido ao aumento dos locais de ligação e infecção das raízes. Os mecanismos de atuação dos ácidos húmicos nas raízes ainda não foram totalmente esclarecidos (BALDOTTO & BALDOTTO, 2014).

A concepção do arranjo supraestrutural dos AH preconiza que compostos de reconhecida capacidade em regular e estimular o crescimento vegetal estejam unidos à supra-estrutura (ROSA et al., 2009). Puglisi et. al (2008) observaram aumento na exsudação de ácido orgânico em plantas de milho submetidas à aplicação de substâncias húmicas. A liberação de prótons e ácidos orgânicos na rizosfera resultam em alteração de pH neste meio, possibilitando a dissociação das supraestruturas húmicas e subsequente disponibilização das frações bioativas, de outra forma indisponíveis (RUSSELL et al., 2006).

As propriedades que as substâncias húmicas apresentam são dependentes

de suas estruturas, e possuem influência direta na atividade biológica que exercem em plantas (BERBARA & GARCÍA, 2014). Em trabalho realizado por García et al. (2016a) em plantas de arroz, os autores observaram, entre outros fatores, que as estruturas de AH contendo cadeias alifáticas não funcionalizadas, carbonilas e carboxilas, estão correlacionadas com o número e alongamento de raízes de menor diâmetro, enquanto estruturas aromáticas funcionalizadas e não-funcionalizadas e cadeias alifáticas funcionalizadas associaram-se ao alongamento de raízes de maior diâmetro.

García et al. (2012, 2014) mostraram que estruturas alifáticas e funcionalizadas com oxigênio em ácidos húmicos de vermicomposto parecem ser responsáveis pelos efeitos protetores em plantas de arroz submetidas a déficit hídrico. A melhoria na germinação de sementes de algumas espécies foi observada pela aplicação de substâncias húmicas com maior teor de fenólicos, hidroxilas e oxigênio (TRAVERSA et al., 2014).

Plantas de milho tiveram o crescimento radicular e atividade enzimática estimulados por fragmentos húmicos mais hidrofílicos e menos complexos (VACCARO et al., 2009). Já Canellas et al. (2012) constataram a (?) relação entre a hidrofobicidade dos ácidos húmicos com sua bioatividade. Uma correlação positiva foi observada entre a presença de grupamentos metoxi, cadeias aromáticas substituídas e carboxilas, com o efeito desencadeado em plantas (AGUIAR et al., 2013).

Autores como Trevisan et al. (2009) e Muscolo, Sidari & Nardi (2013) relataram a presença de auxinas na estrutura dos ácidos húmicos. Porém, os estímulos ao crescimento e desenvolvimento do sistema radicular, em resposta à aplicação de ácidos húmicos, não se devem somente aos efeitos hormonais.

Estudos apontam, quanto à atuação celular e molecular dos ácidos húmicos, para um estímulo da atividade e síntese de enzimas H^+ -ATPases (bombas de prótons) da membrana plasmática (MP), em um efeito semelhante ao auxínico (FAÇANHA et al., 2002; JINDO et al., 2012). Façanha et al. (2002) demonstraram que a aplicação de ácidos húmicos promoveu o desenvolvimento radicular e estimulou a atividade das bombas de prótons da MP em plantas.

A extrusão de prótons pelas H^+ ATPases membranares, gerando um gradiente eletroquímico entre o citosol e o apoplasto, está envolvida diretamente em dois mecanismos essenciais para o desenvolvimento das plantas: a energização de sistemas secundários de transportes de íons, fundamental para absorção de nutrientes; e o aumento da plasticidade da parede celular, fator essencial para o processo de alongamento celular. Relacionado ao primeiro mecanismo, Nardi et al. (2002) constataram um incremento de mais de 89% no transporte de nitrato, quando comparado ao controle, em plantas tratadas com SH. O segundo mecanismo está

relacionado com a teoria do crescimento ácido, que postula que a acidificação do apoplasto, através do bombeamento de prótons pelas H⁺-ATPases da membrana plasmática, ativa enzimas específicas que atuam sobre a parede celular, permitindo que ocorra o alongamento (RAYLE & CLELAND, 1992; FAÇANHA et al. 2002; SONDERGAARD, SCHULZA & PALMGREN, 2004).

Além dos efeitos dos AH nas raízes, pode-se destacar também efeitos positivos na parte aérea, como aumento no teor de nutrientes nas folhas, estímulo na biossíntese de clorofilas e carotenóides, e incremento na presença de cloroplastos e no processo fotossintético. Esses fatores contribuem para o aumento da biomassa vegetal e produção de flores, de frutos e de sementes (MORA et al., 2010; JANNIN et al., 2012; BALDOTTO & BALDOTTO, 2014). Mora et al. (2010) trataram plantas de pepino com ácido húmico via radicular e verificaram alterações na distribuição de nitrato entre parte aérea e raiz. Os autores concluíram que o aumento da concentração deste ânion na parte aérea está relacionado com o aumento na concentração de citocininas e poliaminas, estimulando o crescimento.

Enzimas ligadas à assimilação do nitrogênio, como a nitrato redutase e glutamina sintetase, foram estimuladas por adição de AH em diferentes condições de cultivo. Após aplicação da SH houve diminuição pela metade no teor de carboidratos totais das folhas, em comparação com as plantas controle. Enquanto nas plantas aplicadas com essa substância houve redução nas taxas de glicose e frutose, também ocorreu aumento na concentração de amido (CANELLAS et al., 2013). Pizzeghello, Nicolini & Nardi (2001) observaram aumento na atividade da enzima invertase, favorecendo a formação de hexose a partir da hidrólise de sacarose, originando um substrato disponível para células em desenvolvimento.

A aplicação de diferentes doses de AH no sistema radicular de plantas de arroz sob déficit hídrico, demonstrou efeitos de proteção antiestresse, comprovando-se pela baixa atividade das peroxidases (POX), baixos níveis de peróxido de hidrogênio e de malondialdeído quando comparadas às plantas estressadas sem aplicação de AH. Os ácidos húmicos influenciam na atividade das enzimas POX e superoxidodismutase do sistema antioxidativo, regulando os níveis de EROs e os efeitos na peroxidação de lipídeos (GARCÍA, 2013).

As SH podem melhorar os efeitos negativos do estresse salino em plantas, estimulando o desenvolvimento de raízes, modificando a captação de minerais e reduzindo o tamanho da membrana plasmática. A aplicação de ácido húmico interferiu positivamente nos parâmetros de produção de plantas cultivadas em condições salinas (PARKS, TÜRKMEN & DURSUN, 2010).

Os sistemas endógenos de defesa das plantas podem ser reforçados pela aplicação de SH. Para lidar com os efeitos negativos dos metais pesados nas plantas diversos antioxidantes enzimáticos e não-enzimáticos são mobilizados,

visando eliminar espécies reativas de oxigênio (CANELLAS et al., 2015). Sergiev et al. (2013) constataram que após aplicação simultânea de AH e metais pesados, a atividade de enzimas envolvidas na eliminação oxidativa foi diminuída, quando comparado a plantas tratadas apenas com metal pesado.

CONCLUSÕES

A bioatividade dos ácidos húmicos em plantas ocorre em diversas etapas e níveis, envolvendo desde sistemas enzimáticos e gênicos até alterações metabólicas e morfológicas.

Ácidos húmicos têm se mostrado bioestimulantes eficientes e de importância no crescimento e desenvolvimento vegetal, sendo uma alternativa sustentável para o aumento da produção agrícola.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, N.O.; NOVOTNY, E.H.; OLIVEIRA, A.L.; RUMJANEK, V.M.; OLIVARES, F.L.; CANELLAS, L.P. Prediction of humic acids bioactivity using spectroscopy and multivariate analysis. *Journal of Geochemical Exploration*, v. 129, p. 95-102, jun. 2013.
- AMERI, A.; TEHRANIFAR, A. Effect of humic acid on nutrient uptake and physiological characteristic *Fragaria ananassa* var: camarosa. *Journal of Biological Environmental Science*, v. 6, p. 77-79, 2012
- ARANCON, N. Q.; EDWARDS, C. A.; LEE, S.; BYRNE, R. Effects of humic acids from vermicomposts on plant growth. *European Journal of Soil Biology*, v. 42, p. 65-69, nov. 2006.
- ASLI, S.; NEUMANN, P. M. Colloidal suspensions of clay or titanium dioxide nanoparticles can inhibit leaf growth and transpiration via physical effects on root water transport. *Plant, Cell & Environment*, 2009.
- GARCÍA, A. C.; TAVARES, O. C. H.; BALMORI, D. M.; ALMEIDA, V. S.; CANELLAS, L. P.; GARCÍA-MINA, J. M.; BERBARA, R. L. L. Structure-function relationship of vermicompost humic fractions for use in agriculture. *Journal of Soils and Sediments*, 2016 a.
- BALDOTTO, L. E. B.; BALDOTTO, M. A.; GIRO, V. B.; CANELLAS, L. P.; OLIVARES, F. L.; BRESSAN-SMITH, R. Desempenho do abacaxizeiro 'Vitória' em resposta à aplicação de ácidos húmicos durante aclimação. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 33, p. 979-990, 2009.
- BALDOTTO, M. A.; BALDOTTO, L. E. B. Ácidos húmicos. *Revista Ceres*, Viçosa, v. 61, n. 7, p. 856-881, nov./dez. 2014.
- BERBARA, R. L.; GARCÍA, A. C. In: PARVAIZ, A.; MOHD, R. W. (Eds) Humic substances and plant defense metabolism. Springer, New York, p. 297-319, 2014.
- BOTERO, W. G. Substâncias húmicas: interações com nutrientes e contaminantes. 2010. 75 p. Tese (Doutorado em Química)- Universidade Estadual Paulista, Araraquara, 2010.
- CANELLAS, L. P.; DANTAS, D. J.; AGUIAR, N. O.; PERES, L. E. P.; ZSOGON, A.; OLIVARES, F. L.; DOBBS, L. B.; FAÇANHA, A. R.; NEBBIOSO, A.; PICCOLO, A. Probing the hormonal activity of

fractionated molecular humic components in tomato auxin mutants. *Annals of Applied Biology*, v. 159, p. 202-211, set. 2011.

CANELLAS, L. P.; DOBBSS, L. B.; OLIVEIRA, A. L.; CHAGAS, J. G.; AGUIAR, N. O.; RUMJANEK, V. M.; NOVOTNY, E. H.; OLIVARES, F. L.; SPACCINI, R.; PICCOLO, A. Chemical properties of humic matter as related to induction of plant lateral roots. *European Journal of Soil Science*, p.1-10, abr. 2012.

CANELLAS, L. P.; MARTÍNEZ-BALMORI, D.; MÉDICI, L.O.; AGUIAR, N.O.; CAMPOSTRINI, E.; ROSA, R.C. C.; FAÇANHA, A. R.; OLIVARES, F.L. A combination of humic substances and *Herbaspirillum seropedicae* inoculation enhances the growth of maize (*Zea mays* L.). *Plant and Soil*, v. 366, p. 119-132, mai. 2013.

CANELLAS, L. P.; OLIVARES, F. L.; AGUIAR, N. O.; JONES, D. L.; NEBBIOSO, A.; MAZZEI, P.; PICCOLO, A. Humic and fulvic acids as biostimulants in horticulture. *Scientia Horticulturae*, v. 196, p. 15-27, nov. 2015.

CANELLAS, L. P.; SANTOS, G. A. *Humosfera: tratado preliminar sobre a química das substâncias húmicas*. 1. ed. Campo dos Goytacazes: UENF, 2005. 309 p. Disponível em: <http://www.uenf.br/Uenf/Downloads/LSOL_2727_1154716116.pdf>. Acesso em: 14 mai. 2017.

CANELLAS, L. P.; SANTOS, G. A.; RUMJANEK, V. M.; MORAES, A. A.; GURIDI, F. Distribuição da matéria orgânica e características de ácidos húmicos em solos com adição de resíduos de origem urbana. *Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 36, n. 12, p. 1529-1538, dez. 2001.

CANELLAS, L. P.; ZANDONADI, D. B.; BUSATO, J. G.; BALDOTTO, M. A.; SIMOES, M. L.; MARTINETO, L.; FAÇANHA, A. R.; SPACCINI, R.; PICCOLO, A. Bioactivity and chemical characteristics of humic acids from tropical soils sequence. *Soil Science*, v. 173, n. 9, p. 624-637, set. 2008.

FAÇANHA, A. R.; FAÇANHA, A. L. O.; OLIVARES, F. L.; GURIDI, F.; SANTOS G. A.; VELLOSO, A. C. X.; RUMJANEK, V. M.; BRASIL, F.; SCHRIPSEMA, J.; BRAZ-FILHO, R.; OLIVEIRA, M. A.; CANELLAS, L. P. Bioatividade de ácidos húmicos: efeitos sobre o desenvolvimento radicular e sobre a bomba de prótons da membrana plasmática. *Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 37, n. 9, p. 1301-1310, set. 2002.

FERNANDES, M. S.; SOUZA, S. R.; SANTOS, L. A. (Ed.). *Nutrição Mineral de Plantas*. 2. Ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2018.

FILHO, A. V. S.; SILVA, M. I. V. *Importância das Substâncias Húmicas para a Agricultura*. 2017.

GARCÍA, A. C. Frações sólidas humidificadas de vermicomposto: seus efeitos em plantas e capacidade de retenção de metais pesados. 2013. 130 p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo)- Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2013.

GARCÍA, A. C.; SANTOS, L. A.; IZQUIERDO, F. G.; SPERANDIO, M. V. L.; CASTRO, R. N.; BERBARA, R. L. L. Vermicompost humic acids as an ecological pathway to protect rice plant against oxidative stress. *Journal of Ecological Engineering*, 2012.

GARCÍA, A. C.; SANTOS, L. A.; IZQUIERDO, F. G.; RUMJANEK, V. M.; CASTRO, R. N.; SANTOS, F. S.; SOUZA, L. G. A.; BERBARA, R. L. L. Potentialities of vermicompost humic acids to alleviate water stress in rice plants (*Oryza sativa* L.). *Journal of Geochemical Exploration*, 2014.

GARCÍA, A. C.; SOUZA, L. G. A.; PEREIRA, M. G.; CASTRO, R. N.; GARCÍA-MINA, J. M.; ZONTA, E.; LISBOA, F. J. G.; BERBARA, R. L. L. Structure-property-function relationship in humic substances to explain the biological activity in plants. *Scientific Reports*, fev. 2016.

GARCÍA, A. C.; TAVARES, O. C. H; BALMORI, D. M.; ALMEIDA, V. S.; CABELLAS, L. P.; GARCÍA-

MINA, J.; BERBARA, R. L. L. Structure-function relationship of vermicompost humic fractions for use in agriculture. *Journal of Soils and Sediments*, 2018.

JANNIN, L.; ARKOUN, M.; OURRY, A.; LAÏNÉ, P.; GOUX, D.; GARNICA, M.; FUENTES, M.; FRANCISCO, S. S.; BAIGORRI, R.; CRUZ, F.; HOUDUSSE, F.; GARCIA-MINA, J. M.; YVIN, J. C.; ETIENNE, P. Microarray analysis of humic acid effects on *Brassica napus* growth: Involvement of N, C and S metabolisms. *Plant and Soil*, v. 359, p. 297-319, mar. 2012.

MORA, V.; BACAICOA, E.; ZAMARREÑO, AM.; AGUIRRE, E.; GARNICA, M.; FUENTES, M.; GARCÍA-MINA, JM. Action of humic acid on promotion of cucumber shoot growth involves nitrate-related changes associated with the root-to-shoot distribution of cytokinins, polyamines and mineral nutrients. *Journal of Plant Physiology*, v. 167, p. 633-642, 2010.

MORA, V.; BAIGORRI, R.; BACAICOA, E.; ZAMARREÑO, AM.; GARCÍA-MINA, JM. The humic acid-induced changes in the root concentration of nitric oxide, IAA and ethylene do not explain the changes in root architecture caused by humic acid in cucumber. *Environmental and Experimental Botany*, v.76, p. 24-32, fev. 2012.

MUSCOLO, A.; SIDARI, M. Carboxyl and phenolic humic fractions affect *Pinus nigra callus* growth and metabolism. *Soil Science Society of America Journal*, v. 73, n. 4, p. 1119-1129, jul./ago. 2009.

MUSCOLO, A.; SIDARI, M.; ATTINÀ, E.; FRANCIOSO, O.; TUGNOLI, V.; NARDI, S. Biological activity of humic substances is related to their chemical structure. *Soil Science Society of America Journal*, v. 71, n. 1, p. 75-85, jan./fev. 2007.

MUSCOLO, A.; SIDARI, M.; NARDI, S. Humic substance: relationship between structure and activity. Deeper information suggests univocal findings. *Journal of Geochemical Exploration*, v. 129, p. 57-63, jun. 2013.

NANNIPIERI, P.; GREGO, S.; DELL'AGNOLA, G.; NARDI, S. Proprietà biochimiche e fisiologiche della sostanza organica. In: NANNIPIERI, P. (Ed.). *Ciclo della sostanza organica nel suolo: aspetti agronomici, chimici, ecologici, ecologici & selvicolture*. Bologna: Patron, 1993. p. 67-78

NARDI, S.; PIZZEGHELLO, D.; MUSCOLO, A.; VIANELLO, A. Physiological effects of humic substances on higher plants. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 34, p. 1527-1536, nov. 2002.

PICCOLO, A. The supramolecular structure of humic substances. *Soil Science*, v. 166, n. 11, p. 810-832, nov. 2001.

PICCOLO, A. In memoriam Prof. F. J. Stevenson and the Question of humic substances in soil. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*. 2016.

PETROV, V.; HILLE, J.; MUELLER-ROEBER, B.; GECHEV, T. S. ROS-mediated abiotic stress-induced programmed cell death in plants. *Frontiers in Plant Science*, 2015.

PINHEIRO, F. R. Estudo das interações entre substâncias húmicas e os íons Ca (II), Mg (II) e Mn (II). 2010. 31 p. Relatório (Disciplina Estágio Supervisionado II- QMC 5512)- Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

PIZZEGHELLO, D.; NICOLINI, G.; NARDI, S. Hormone-like activity of humic substances in *Fagus sylvatica* forests. *New Phytologist*, v. 151, p. 647-657, set. 2001.

PUGLISI, E.; FRAGOULIS, G.; DEL RE, A. A.; SPACCINI, R.; PICCOLO, A.; GIGLIOTTI, G.; SAID-PULLICINO, D.; TREVISAN, M. Carbon deposition in soil rhizosphere following amendments with compost and its soluble fractions, as evaluated by combined soil-plant rhizobox and reporter gene systems. *Chemosphere*, v. 73, p. 1292-1299, nov. 2008.

- PRIMO, D. C.; MENEZES, R. S. C.; SILVA, T. O. Substâncias húmicas da matéria orgânica do solo: uma revisão de técnicas analíticas e estudos no nordeste brasileiro. *Scientia Plena*, v.7, n.5, p. 1-13, 2011
- RAYLE, D. L.; CLELAND, R. E. The Acid Growth Theory of auxin induced cell elongation is alive and well. *Plant Physiology*, v. 99, p. 1271-1274, ago. 1992.
- ROCHA, J. C.; ROSA, A. H.; FURLAN, M. An alternative methodology for the extraction of humic substances from organic soils. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, v. 9, p.51-56, 1998.
- ROSA, A. H. Substâncias húmicas: extração, caracterização, novas perspectivas e aplicações. 2001. 87 p. Tese (Doutorado em Química Analítica)- Universidade Estadual Paulista, Araraquara, 2001.
- ROSA, C. M.; CASTILHOS, R. M. V.; VAHL, L. C.; CASTILHOS, D. D.; PINTO, L. F. S.; OLIVEIRA, E. S.; LEAL, O. A. Efeito de substâncias húmicas na cinética de absorção de potássio, crescimento de plantas e concentração de nutrientes em *Phaseolus vulgaris* L. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 33, n. 4, p. 959-967, jul./ago. 2009.
- RUSSELL, L.; STOKES, A. R.; MACDONALD, H.; MUSCOLO, A.; NARDI, S. Stomatal responses to humic substances and auxin are sensitive to inhibitors of phospholipase A₂. *Plant and Soil*, v. 283, p. 175-185, mai. 2006.
- SANTOS, C. A. Substância húmica e seu efeito em atributos químicos e biológicos do solo e na produção vegetal. 2014. 92 p. Tese (Doutorado em Ciências- Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2014.
- SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. Fundamentos da matéria orgânica do solo. Porto Alegre: Genesis, 1999. 491 p
- SERGIEV, I.; TODOROVA, D.; MOSKOVA, I.; GEORGIEVA, N.; NIKOLOVA, A.; SIMOVA, S.; POLIZOEV, D.; ALEXIEVA, V. Protective effect of humic acids against heavy metal stress in triticale. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, v. 66, n. 1, p. 53-60, out. 2013.
- SIMPSON, A. J.; SONG, G.; SMITH, E.; LAM, B.; NOVOTNY, E. H.; HAYES, M. H. B. Unravelling the structural components of soil humin by use of solution-state nuclear magnetic resonance spectroscopy. *Environment Science Technology*, v. 41, p. 883, 2007.
- SILVA, R. M.; JABLONSKI, A.; SIEWERDT, L.; JÚNIOR, P. S. Desenvolvimento das raízes do azevém cultivado em solução nutritiva completa, adicionada de substâncias húmicas, sob condições de casa de vegetação. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 29, n. 6, p. 1623-1631, 2000.
- SONDERGAARD, T. E.; SCHULZA, A.; PALMGREN, M. G. Energization of transport processes in plants. Roles of plasma membrane H⁺- ATPase. *Plant Physiology*, v. 136, n.1, p. 2475-2482, set. 2004.
- SPOSITO, G. *The chemistry of soils*. New York: Oxford University Press, 2004. 277p.
- SPOSITO, G. *The chemistry of soils*. 2nd ed. New York, Oxford, 2008. 330p
- STEVENSON, F.J. In: *Humus Chemistry: Genesis, Composition and Reaction*, 1^a Ed., John Wiley & Sons, New York, 1982.
- STEVENSON, F. J. *Humus chemistry: genesis, composition, reactions*. 2.ed. New York: Wiley, 1994. 496 p.
- SUTTON, R.; SPOSITO, G. Molecular structure in soil humic substances: the new view. *Environmental Science & Technology*, v. 39, p. 9009-9015, 2005.

TAVARES, O. C. H. Efeito dos ácidos húmicos sobre as H⁺-ATPASE, transportadores de N-NO³⁻ e N-NH₄⁺, e sobre o crescimento em arroz. 2014. 118 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2014.

TRAVERSA, A.; LOFFREDO, E.; GATTULLO, C. E.; PALAZZO, A. J.; BASHORE, T. L.; SENESI, N. Comparative evaluation of compost humic acids and their effects on the germination of switchgrass (*Panicum virgatum* L.). *Journal Soils Sediments*, v. 14, p. 432–440, 2014.

TREVISAN, S.; BOTTON, A.; VACCARO, S.; VEZZARO, A.; QUAGGIOTTI, S.; NARDI, S. Humic substances affect *Arabidopsis* physiology by altering the expression of genes involved in primary metabolism, growth and development. *Environmental and Experimental Botany*, v. 74, p. 45-55, dez. 2011.

TREVISAN, S.; PIZZEGHELLO, D.; RUPERTI, B.; FRANCIOSO, O.; SASSI, A.; PALME, K.; QUAGGIOTTI, S.; NARDI, S. Humic substances induce lateral root formation and expression of the early auxin-responsive IAA19 gene and DR5 synthetic element in *Arabidopsis*. *Journal of Plant Biology*, v. 12, p. 604-614, 2009.

VACCARO, S.; MUSCOLO, A.; PIZZEGHELLO, D.; SPACCINI, R.; PICCOLO, A.; NARDI, S. Effect of a compost and its water-soluble fractions on key enzymes of nitrogen metabolism in maize seedlings. *Journal Agriculture Food Chemistry*, v. 57, p. 11267–11276, 2009.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Aprendizagem 1, 2, 3, 4, 6, 7, 10, 12, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 22, 23, 24, 25, 27, 28, 30, 33, 35, 41, 42, 44, 45, 47, 63

Associações 81, 84, 88, 89, 94

Atcc8096 190

Atividade lúdica 11, 12, 22, 47

Avaliação da linearidade 190

B

Bioatividade 173, 174, 175, 177, 180, 182, 185

Biocompósito 140, 143, 146, 147, 149

C

Carboidratos 35, 36, 37, 38, 41, 42, 43, 183, 257

Celulases 113, 114, 115, 116, 120, 121, 122

Chalconas 100, 101, 106, 107, 108, 110

Compósitos poliméricos 151, 152, 153, 162

Copolímero enxertado 81, 93

D

Diagnostico 60

Dihidropirimidinonas 100, 102, 103, 106, 107, 108

E

Ensino de química 1, 2, 7, 11, 14, 16, 17, 20, 22, 23, 25, 27, 28, 30, 33, 34, 35, 37, 38, 42, 44, 46, 47, 79, 255

Essential oil 190, 198, 199, 236

Estudo reo-cinético 151, 163

Eugenia astringens Cambess 189, 190, 191, 292

Extração de enzimas 113, 116, 117

F

Fermentação em estado sólido 113, 115, 116, 122

Fluorescência 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 89, 92, 176

Fosfonatos 166, 167, 168, 169, 170

G

Gc-ms 190, 199

H

Hibridização molecular 100, 104, 106, 108

Híbridos 100, 104, 105, 108, 110

Hidroxiapatita 140, 141, 142, 143, 144, 145, 146, 147, 148, 149, 150

Homocedasticidade 190, 191, 192, 194

I

Indicador ácido-base 48, 51, 53, 58

Iniciadores catalíticos 166, 167, 168, 170

J

Jogo 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 18, 20, 21, 22, 23, 24, 25

Jogos didáticos 1, 2, 3, 6, 16, 18, 23

L

Laboratório 11, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 78, 81, 108, 140, 189, 198, 201, 243, 251, 255, 256, 260, 281, 289

Leitores 72, 73, 74, 75, 76

Leitura 8, 17, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 270

Licenciatura 4, 35, 72, 73, 74, 76, 78, 79, 270, 272, 273, 275, 276, 289

Lúdico 2, 3, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 23, 24, 25, 34, 44

M

Massa molar 46, 47, 83, 88, 89, 90, 93, 128, 176, 203

Matéria orgânica 172, 173, 174, 175, 176, 178, 179, 185, 186, 187, 245

Modelo atômico de bohr 28, 29

P

Papel indicador 48, 51, 52, 53, 57, 58

Poliâmidas 166

Prática experimental 27, 28, 33, 35, 38

Processamento 66, 151, 153, 155, 162, 163, 164, 167, 201, 202, 206, 207, 258, 259, 263, 264, 265

Produtos químicos 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70

Q

Química dos alimentos 35, 36, 43

Quitosana 86, 90, 122, 123, 124, 125, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 132, 133, 134, 136, 137, 138, 139, 140, 141, 142, 143, 144, 145, 146, 147, 148, 149, 219, 220, 221, 222, 223, 224, 225

R

Repolho roxo 48, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59

Resíduos do cacau 113

S

Staphylococcus aureus 189, 190, 191, 192, 193, 199

Substâncias húmicas 172, 173, 174, 175, 176, 177, 178, 180, 181, 182, 184, 185, 186, 187

T

Tabela periódica 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 11, 12

Termorresponsivo 81, 84, 93, 94

Teste citotóxico 190, 193, 197

Trichoderma 113, 114, 115, 122

