

Produtor Rural



# Condicionadores do solo: ácidos húmicos e fúlvidos

Vanessa Cristina Caron  
Jonathas Pereira Graças  
Paulo Roberto de Camargo e Castro

Universidade de São Paulo  
Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"  
Divisão de Biblioteca

ISSN 1414-4530

Universidade de São Paulo - USP

Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” - ESALQ

Divisão de Biblioteca - DIBD

**Vanessa Cristina Caron<sup>1</sup>**  
**Jonathas Pereira Graças<sup>2</sup>**  
**Paulo Roberto de Camargo e Castro<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Mestre em Fitotecnia - ESALQ/USP, Piracicaba, SP

<sup>2</sup> Mestre em Fisiologia e Bioquímica de Plantas - ESALQ/USP, Piracicaba, SP  
jonathaspg@usp.br

<sup>3</sup> Professor Titular - Departamento de Ciências Biológicas - ESALQ/USP,  
Piracicaba, SP - prcastro@usp.br

# **Condicionadores do solo: ácidos húmicos e fúlvicos**

Série Produtor Rural - nº 58

Piracicaba  
2015

## **DIVISÃO DE BIBLIOTECA - DIBD**

Av. Pádua Dias, 11 - Caixa Postal 9

13.418-900 - Piracicaba - SP

biblioteca.esalq@usp.br • www.esalq.usp./biblioteca

Revisão e Edição Eliana Maria Garcia

Foto Capa Shutterstock

Layout Capa José Adilson Milanêz

Editoração Eletrônica Maria Clarete Sarkis Hyppolito

Impressão e Acabamento Serviço de Produções Gráficas - ESALQ

Tiragem 300 exemplares

### **Dados Internacionais de Catalogação na Publicação DIVISÃO DE BIBLIOTECA - ESALQ/USP**

Caron, Vanessa Cristina

Condicionadores do solo: ácidos húmicos e fúlvicos / Vanessa Cristina Caron, Jonathas Pereira Graças e Paulo Roberto de Camargo e Castro. - - Piracicaba: ESALQ - Divisão de Biblioteca, 2015.

46 p. : il. (Série Produtor Rural, nº 58)

Bibliografia.

ISSN 1414-4530

1. Ácidos fúlvicos 2. Ácidos húmicos 3. Condicionadores do solo I. Graças, J.P. II. Castro, P.R. de C. e III. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - Divisão de Biblioteca IV. Título V. Série

CDD 631.82  
C293c

# SUMÁRIO

1 ÁCIDOS HÚMICOS E FÚLVICOS.....	<b>5</b>
2 INTRODUÇÃO .....	<b>7</b>
3 SUBSTÂNCIAS HÚMICAS COMO CONDICIONADORES DE SOLO.....	<b>9</b>
4 BENEFÍCIOS DAS SUBSTÂNCIAS HÚMICAS.....	<b>13</b>
4.1 Aliviação de estresses .....	<b>16</b>
4.2 Desenvolvimento do sistema radicular .....	<b>18</b>
4.3 Síntese de enzimas .....	<b>23</b>
4.4 Germinação de sementes .....	<b>37</b>
5 APLICAÇÕES DOS ÁCIDOS HÚMICOS E FÚLVICOS .....	<b>25</b>
5.1 Aplicações na cultura da cana-de-açúcar .....	<b>25</b>
5.2 Aplicações em culturas de grãos .....	<b>26</b>
5.3 Aplicações em olerícolas .....	<b>27</b>
6 MECANISMOS DE AÇÃO DAS SUBSTÂNCIAS HÚMICAS .....	<b>31</b>
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	<b>35</b>
REFERÊNCIAS.....	<b>37</b>



## 1 ÁCIDOS HÚMICOS E FÚLVICOS

Um desafio na agricultura atual é equacionar a crescente demanda por quantidade e qualidade dos alimentos com a exploração racional do meio ambiente. O sucesso de muitos cultivos tem sido associado à intensa aplicação de insumos que, apesar de todos os efeitos visíveis no crescimento, desenvolvimento e produtividade das plantas, por vezes, são dispendiosos e quando não manejados corretamente a longo prazo, geram impactos negativos na ecologia de uma determinada região agrícola. Nesta perspectiva, destacam-se os ácidos húmicos e fúlvicos, que naturalmente resultam da decomposição da matéria orgânica e são capazes de estimular alterações fisiológicas nas plantas, as quais podem contribuir para um melhor desenvolvimento, o que é essencial para que se obtenha ganhos em produtividade. Somado ao tradicional sistema de aplicação de insumos, deve-se considerar o potencial dos ácidos húmicos e fúlvicos para a resposta desejada nas culturas. Nos tópicos seguintes, será apresentada uma caracterização dessas substâncias associada a seus efeitos na fisiologia das plantas com os possíveis impactos para aplicação na agricultura.



O manejo da agricultura, independente da cultura conduzida, tem seguido cada vez mais critérios de redução no uso de defensivos agrícolas, diminuindo a possibilidade de causar impactos ambientais significativos e de propiciar danos à saúde do consumidor e do trabalhador rural. Além disso, as mudanças climáticas e as diversidades dos territórios cultiváveis têm estimulado o produtor a utilizar técnicas que controlem a produtividade da cultura em decorrência de algum tipo de estresse. Diante desta situação, diversas alternativas de cultivo podem ser adotadas para possibilitar uma agricultura menos impactante ao meio ambiente e mais eficiente em produtividade.

As substâncias húmicas são compostos orgânicos oriundos da decomposição de resíduos vegetais e animais do ambiente, que podem ser utilizados como insumos alternativos para o manejo de diversas culturas. Suas propriedades químicas, microbiológicas e físicas podem garantir um incremento na produtividade em decorrência dos benefícios que promove para a estrutura física e química do solo e para o metabolismo da planta.

Substâncias húmicas são constituintes da matéria orgânica dos solos e dos sedimentos que podem melhorar as propriedades do solo e o metabolismo vegetal (Figura 1). Os ácidos húmicos e fúlvicos são os compostos mais importantes das frações húmicas, com relação à reatividade e ocorrência nos ecossistemas.

Considera-se que as substâncias húmicas aumentam o movimento e absorção de íons, incrementam a respiração e a velocidade das reações enzimáticas do ciclo de Krebs, promovem alta produção de ATP nas células radiculares, aumento nos níveis de clorofila e na síntese de ácidos nucleicos. Além disso, causam aumento

ou redução na atividade de diversas enzimas, afetando ainda a dinâmica do  $\text{NH}_4^+$  no solo.

Diminuem ainda a perda de N para a atmosfera pela redução do  $\text{N}_2$  e o consumo de  $\text{OH}^-$  pelo  $\text{H}^+$ , dado pelo ácido orgânico, produz grupos orgânicos com cargas negativas com alta afinidade pelo  $\text{NH}_4^+$ , reduzindo seu movimento no solo, diminuindo a perda por lixiviação e aumentando a disponibilidade de  $\text{NH}_4^+$  para o cultivo.

Existem estudos que demonstram diversos benefícios das substâncias húmicas para alguns cultivos e, ainda, evidências da sua interação bioquímica e fisiológica com o crescimento das plantas. Porém, há necessidade de maior conhecimento da real funcionalidade destes compostos para certas espécies de interesse econômico e do comportamento de cada tipo de substância húmica.

Com a finalidade de conhecer melhor os efeitos das substâncias húmicas na agricultura, este trabalho reúne diversos estudos com o uso de ácidos húmicos e fúlvicos no manejo de diferentes cultivos.

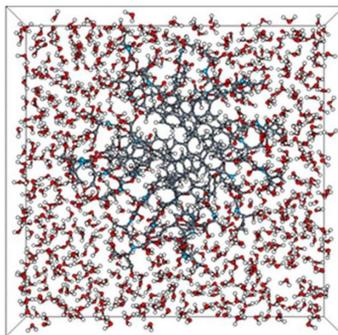


Figura 1 - Modelo computacional simulando a estrutura do ácido húmico dissolvido em água. A fase húmica consiste em grupos ácidos hidrofílicos junto com a água e anéis aromáticos hidrofóbicos agrupados no centro. Átomos de oxigênio em vermelho, hidrogênio em branco, carbono em preto e nitrogênio em azul (Adaptado de VAN DUIN et al., 2000)

### 3 SUBSTÂNCIAS HÚMICAS COMO CONDICIONADORES DE SOLO

Os condicionadores de solo são substâncias orgânicas com cadeias carbônicas iguais ou semelhantes às presentes na natureza. Estes compostos são oriundos da extração de turfas ou de minas e também podem ser sintetizados industrialmente. Aqueles extraídos da natureza apresentam composição variada, porém, de forma geral, são fontes de ácidos húmicos e fúlvicos. Dentre os condicionadores de solo, existem aqueles que ainda tem sua fórmula complementada com micronutrientes e/ou macronutrientes, para se enquadrarem como fertilizantes organominerais.

Os ácidos húmicos e fúlvicos fazem parte da composição orgânica do solo (húmus) e os condicionadores do solo tendem a simular esta composição. O húmus é formado a partir da decomposição da biomassa do solo em compostos orgânicos. As substâncias húmicas possuem alta capacidade de troca de cátions e estão presentes em solos, águas e sedimentos com matéria orgânica estável (CANELLAS et al., 2005), sendo originadas da deposição e/ou da degradação de resíduos orgânicos vegetais e animais, do metabolismo biológico destes compostos, da ciclagem do C, H, N e O da matéria orgânica do solo, pela biomassa microbiana e, ainda, da polimerização microbiológica dos compostos orgânicos cíclicos, resultando em substâncias complexas com diferentes pesos moleculares (STEVENSON, 1994). São caracterizadas como macromoléculas com interações intermoleculares hidrofóbicas que podem ser desestruturadas quando em contato com baixas concentrações de soluções de ácidos mono, di e tri carboxílicos. A extração das substâncias húmicas pode ser realizada

com compostos alcalinos, passando posteriormente por um processo de estabilização e, quando necessário, por adição de nutrientes.

As substâncias húmicas possuem 4 propriedades principais devido a sua estrutura (SPOSITO, 2004):

- **Polifuncionalidade:** grande número de grupos funcionais proporcionando amplo espectro de reatividade;
- **Carga macromolecular negativa:** permite maior reatividade com outras moléculas;
- **Hidrofilicidade:** tendência de formar fortes pontes de hidrogênio com a água;
- **Maleabilidade estrutural:** capacidade de associação intermolecular e mudança na conformação molecular em função da mudança de pH, dos valores de redox, da concentração eletrolítica e da ligação com grupos funcionais.

As substâncias húmicas são constituídas de ácido húmico, ácido fúlvico, huminas e ácidos himatomelânicos (Figura 1).

Os ácidos húmicos constituem a maior fração das substâncias húmicas, tratam-se de precipitados escuros, solúveis em ácidos minerais e solventes orgânicos. Tem elevado peso molecular, capacidade de troca de cátions entre 350 e 500 meq 100 g<sup>-1</sup>, com origem na lignina, possuem alto teor de ácidos carboxílicos e significativas quantias de nitrogênio (TAN, 1993).

Os ácidos fúlvicos são solúveis em água, soluções ácidas e alcalinas. Apesar de possuírem similaridade estrutural aos ácidos húmicos, apresentam menor peso molecular, maior quantidade de compostos fenólicos e de grupos carboxílicos e uma menor quantidade de estruturas aromáticas. Estas características lhes conferem melhor solubilidade em

água e maior capacidade de troca catiônica (700 a 1000 meq 100 g<sup>-1</sup>).

As huminas compõem um resíduo extraível e correspondem à fração menos humificada das substâncias húmicas. São materiais complexos, quimicamente heterogêneos, inativos, insolúveis em soluções ácidas e alcalinas.

Os ácidos himatomelânicos formam suspensões ou soluções coloidais quando em mistura com a água e possuem menor peso molecular do que os ácidos húmicos, mas com composição elementar semelhante.



## 4 BENEFÍCIOS DAS SUBSTÂNCIAS HÚMICAS

As substâncias húmicas influenciam diretamente a estrutura física, química e microbiológica dos ambientes onde estão presentes, assim como afetam o metabolismo e o crescimento das plantas (CANELLAS et al., 2005). São usadas como insumos com a finalidade de melhorar as condições do solo para o desenvolvimento, principalmente, do sistema radicular das culturas implantadas.

As influências na estrutura física ocorrem através da maior retenção de água, melhoria da aeração e, por consequência, maior resistência à erosão devido às suas partículas coloidais, que são capazes de formar uma emulsão em contato com a água (KIEHL, 1985). As melhorias químicas ocorrem em função da atuação como agentes complexantes, o que desfavorece a manutenção de íons metálicos na solução do solo e, assim, promovem redução da toxidez destes elementos. Além disso, aumentam o poder tampão dos solos, reduzindo as variações de pH do meio.

O incremento de fósforo solúvel através da complexação de  $\text{Fe}^{+2}$  e  $\text{Al}^{+3}$  em solos ácidos e do  $\text{Ca}^{+2}$  em solos alcalinos, também são características das substâncias húmicas. Com isso, tem-se que as substâncias húmicas promovem melhoria na agregação do solo e, assim, redução da densidade, maior capacidade de retenção de água, estabilidade no pH, aumento da CTC e da matéria orgânica, menor perda de nutrientes potenciais e redução na perda de nitrato (SASAL et al., 2000; TEJADA et al., 2008; GONZÁLEZ et al., 2010). Segundo Beauclair et al. (2007), o efeito mais evidente dos ácidos húmicos é sobre sua dinâmica no nitrogênio amoniacal, já que quando há adição de ácidos no solo, ocorre aumento

da concentração de  $\text{NH}_4^+$  e redução de  $\text{NH}_3$ . Com isso ocorre uma diminuição significativa da forma mais volátil do N e este processo ainda gera radicais orgânicos com carga negativa que têm grande afinidade com  $\text{NH}_4^+$ , ajudando a retê-lo, diminuindo sua lixiviação no solo, deixando-o mais disponível às plantas. Estes mesmos autores, a fim de comprovar este efeito do uso de condicionadores orgânicos de solos, testaram um condicionador orgânico (20-0-0) em condição laboratorial. Neste experimento, confirmaram a excelente retenção do nitrogênio no solo com o uso do condicionador, diferente do solo contendo apenas aquamônia.

Em estudo com avaliação das propriedades redox de ácidos húmicos em solos cultivados com cana por longo tempo, foi demonstrado que estas substâncias, originadas da palhada e da vinhaça da cana, resultam em maiores teores de grupos fenóis, quinonas e semiquinonas, além de  $\text{CO}_2$  mais elevado do que em solos com cana queimada e sem vinhaça (BALDOTTO et al., 2008). Isso retrata o importante papel dos ácidos húmicos como condicionadores de solo devido a suas propriedades redox.

Estudos recentes identificaram a eficiência das substâncias húmicas em complexar certos metais pesados como mercúrio e níquel, em solos de cultivo. Serudo et al. (2004) verificaram que, com o uso de substâncias húmicas em solos contaminados com mercúrio, houve redução dos níveis deste metal em função da relação entre a quantidade de mercúrio e a fração húmica, independente do pH do solo. O efeito positivo destas substâncias em solos contaminados com níquel também foi observado por Revoredo e Melo (2004) no cultivo de sorgo. Na fração de ácido fúlvico, houve melhor controle do metal para o cultivo do sorgo.

Esta capacidade dos ácidos húmicos e fúlvicos de complexar certos metais, também pode trazer benefícios

para os solos cultiváveis, já que podem complexar Fe de forma que façam parte da sua configuração e, por consequência, atribuir maior fertilidade ao solo de cultivo. Em estudo realizado por Baigorri et al. (2004), foi demonstrado que existe uma forte interação do Fe na estrutura conformacional dos ácidos húmicos e que eles ficam mais fortemente ligados quando em condições de pH baixo.

Já em relação às interferências no metabolismo das plantas, devido à sua alta capacidade de troca catiônica, possuem a propriedade de complexar e, com isso, disponibilizar cátions às plantas, principalmente micronutrientes. Estas interferências não só estão relacionadas com os nutrientes que estas substâncias fornecem para as plantas, como também devido ao estímulo direto no desenvolvimento e no metabolismo destas plantas. Existem alguns estudos que demonstram os efeitos positivos na germinação de sementes, no crescimento inicial das raízes, na biomassa da planta e no auxílio na defesa da planta contra estresses.

O crescimento, o padrão de formação e a diferenciação dos órgãos vegetais são etapas do desenvolvimento vegetal alterados, frequentemente, pelas substâncias húmicas (CANELLAS et al., 2005). Esta ação estimulante é atribuída, em geral, a um efeito direto dos hormônios vegetais ou ainda no comportamento hormonal das plantas (CHEN; NOBILI; AVIAD, 1990; BOYHAN et al., 2001), em especial ao hormônio auxina, que pode ser estimulado na presença de ácidos húmicos, resultando em crescimento do sistema radicular das plantas (TREVISAN et al., 2010).

Segundo Vaughan et al. (1985), as substâncias húmicas podem influenciar processos de formação das proteínas, com aumento de síntese das enzimas invertase e peroxidase,

porém, sem agir na síntese de fosfatase e na incorporação de aminoácidos em proteínas, atuando, portanto, na formação de um novo RNA.

Em *Arabidopsis thaliana* a aplicação de substâncias húmicas, promoveu modulação diferencial na expressão de 133 genes, a partir de 30 minutos da aplicação (TREVISAN et al., 2012). Em 75 % dos genes a expressão foi aumentada e em 25 % foi reprimida. A maioria dos genes com expressão aumentada estão relacionados com processos metabólicos e celulares, perfazendo 34 % do total, seguido por genes relacionados a resposta a estímulos e estresses (9 %). Dos genes reprimidos, 41 % correspondem a atividades catalíticas de enzimas. Assim, as substâncias húmicas atuam em uma rede complexa na planta, acelerando o metabolismo, essencial para ativação de vários processos nas plantas, como síntese hormonal e crescimento.

#### **4.1 Alívio de estresses**

As substâncias húmicas também podem atuar na proteção de efeitos tóxicos para as plantas, promovidos pela ação de pesticidas, fertilizantes e esterco não-curtido. Esta proteção é decorrente da presença de uma rede de cargas negativas na sua estrutura, capaz de reagir com os compostos orgânicos que contém nitrogênio. Este tipo de interação é complexo, porém permite que herbicidas do grupo dos íons dipiridilos desapareçam do ambiente do solo quando aplicados junto com as substâncias húmicas. No entanto, no caso dos herbicidas do grupo das dinitroanilinas, as substâncias húmicas complexam estes compostos, permitindo que os mesmos sejam absorvidos pelas plantas (SEQUI, 1986).

Em *Vicia faba*, a aplicação de ácido húmico suprimiu os efeitos tóxicos do alumínio sobre o crescimento das raízes laterais e principais e ao mesmo tempo permitiu uma maior absorção de nutrientes (BÜYÜKKESKIN et al., 2015). Para o caso do alumínio isto possui importância, uma vez que o sintoma clássico é a inibição do crescimento radicular (SAMAC; TEFAYE, 2003). Tendo em vista que quase 50 % dos solos aráveis são ácidos (VON UEXKÜLL; MUTERT, 1995) e localizados principalmente nos países em desenvolvimento, deve-se considerar a aplicação de ácidos húmicos associada a tradicional calagem. Há carência da realização de estudos mais detalhados para fins de entendimento dos efeitos, assim como sobre as doses de aplicações para os cultivos.

Outro fator limitante para a agricultura são os solos com altas concentrações de sais, onde o crescimento da planta é reduzido e a produtividade afetada. A aplicação de ácido húmico em um estresse salino moderado (8mM) em plântulas do cultivar Demre de pimenta, resultou em um maior crescimento radicular, avaliado pelo peso fresco e seco da raiz (ÇIMRIN et al., 2010). Além disso, houve um incremento no conteúdo de N, P, K, Ca, S, Fe, Mn, Zn e Cu no meristema apical. De acordo com o modelo proposto por Ouni et al. (2014), o benefício da aplicação de substâncias húmicas em solos salinos ocorre pela presença de Ca, Mg e K em sua composição. Esses sais mantêm os sítios de troca catiônica ativos, agregando-se com outros elementos. De certa forma, o Na se torna mais diluído e pode ser perdido por lixiviação. O agregado formado entre as substâncias húmicas e os nutrientes, torna-os mais disponíveis para as plantas (Figura 2).

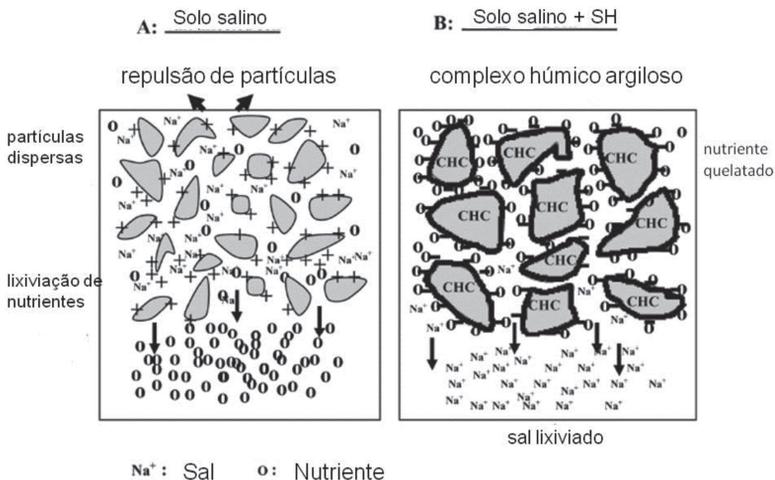


Figura 2 - Modelo proposto do efeito da aplicação de substâncias húmicas (SH) em solos salinos (Adaptado de OUNI et al., 2014)

## 4.2 Desenvolvimento do sistema radicular

Um sistema radicular com bom desenvolvimento é sempre desejável para qualquer cultura. Raízes são importantes para a fixação da planta no solo, absorção de água e nutrientes e síntese hormonal. Procura-se cada vez mais, aplicar substâncias ou melhorar cultivares para apresentarem um sistema radicular mais robusto, reduzindo a adubação e garantindo vantagem em solos mais pobres e secos. Os efeitos mais notáveis dos ácidos húmicos e fúlvicos na planta ocorrem nas raízes, onde promovem efeito positivo no crescimento, seja pelo aumento das ramificações laterais, ou pelo incremento de sua biomassa. Estes efeitos estão relacionados aos mesmos efeitos da auxina. Isso ocorre,

uma vez que a presença dos ácidos húmicos no solo estimula a síntese de auxina ou age de forma semelhante a ela, já que resulta em expansão e alongação das células, promovendo o crescimento das raízes (CANELLAS et al., 2005). Uma vez sintetizada, a auxina sinaliza para as células do periciclo iniciarem a divisão celular e dar origem às raízes laterais (CASIMIRO et al., 2001) (Figura 3). Em milho já foi demonstrada a indução de raízes laterais, tanto por ácidos húmicos como pela aplicação de auxina (ZANDONADI; CANELLAS; FAÇANHA, 2007). A expansão celular se deve a síntese de H<sup>+</sup>ATPases, responsáveis pelo bombeamento de prótons, com síntese de ATP. Esta variação do potencial eletroquímico leva a uma redução do pH, permitindo maior atividade de enzimas da expansão celular. Os ácidos húmicos e fúlvicos podem estar envolvidos em algumas das vias de estimulação do bombeamento de prótons, e as ATPases podem ser consideradas marcadores metabólicos da bioatividade destes condicionadores de solo (FAÇANHA et al., 2002).

Existem evidências de que os ácidos húmicos dependem em especial, do índice de hidrofobicidade do meio para que consigam interagir bioquimicamente com as células do tecido radicular. Para isso, há necessidade de que os domínios hidrofóbicos estejam aptos para serem liberados, situação que ocorre, possivelmente, a partir da ação de ácidos exsudados da raiz e por moléculas, como a auxina, que exercem um estímulo na membrana celular. Este processo foi evidenciado em culturas de milho, tomate e em plantas de *Arabidopsis*, quando cultivadas em substrato com mistura de compostos orgânicos e derivados húmicos (DOBBSS et al., 2010). As estruturas das substâncias húmicas são estabilizadas por forças relativamente fracas (ligações do tipo van Der Waals), que na presença de ácidos orgânicos,

são facilmente quebradas (FAÇANHA et al., 2002), resultando em subunidades bioativas com atividade auxínica, que sensibilizam receptores da membrana plasmática ou do citoplasma, desencadeando resposta típica da ação deste hormônio vegetal (FAÇANHA et al., 2002; CANELLAS et al., 2005).

Uma das hipóteses sobre o mecanismo com que os ácidos húmicos e fúlvicos modificam a arquitetura da raiz envolve a síntese de auxina. O estímulo aos receptores da auxina foi confirmada num estudo onde identificou-se que o uso de determinada substância húmica em *Arabidopsis thaliana* promoveu ativação dos promotores da síntese da auxina (DR5 GUS), com posterior transcrição do gene responsivo da auxina (IAA19) (TREVISAN et al., 2010). Em tomateiro, também foi observada a ativação da transcrição de promotores responsivos à síntese de auxina (DR5 GUS) (DOBBSS et al., 2010). A síntese de auxina é importante para o desenvolvimento da raiz e estimula a formação de raízes laterais, importantes para a absorção de água e nutrientes. Em milho, foi demonstrado que o estímulo para a modificação da arquitetura radicular, especialmente o surgimento de raízes laterais, envolve a produção de óxido nítrico, após a aplicação de ácidos húmicos (ZANDONADI et al., 2010). O óxido nítrico estimula a atividade de H<sup>+</sup>ATPase e a síntese de auxina. A auxina também estimula a síntese e atividade das H<sup>+</sup>ATPases. A atividade acidifica o apoplasto, contribuindo para o afrouxamento das paredes celulares, permitindo o crescimento da raiz (Figura 3).

Como as raízes laterais são mais finas, têm maior área de contato e absorvem maior quantidade de nutrientes e água do que as raízes principais, quando na presença de substâncias húmicas, aumentam em quantidade e tamanho, já que são estimuladas pelos ácidos húmicos e fúlvicos.

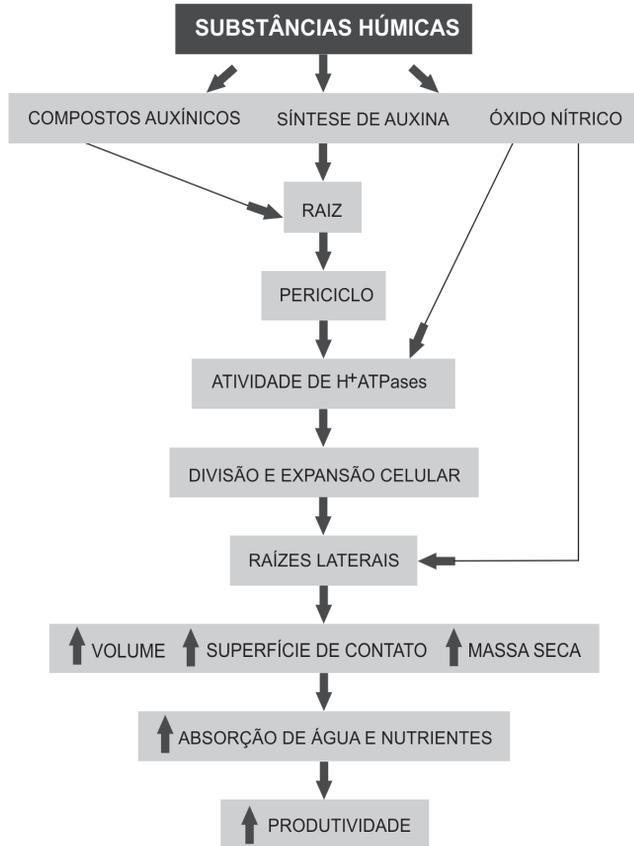


Figura 3 - Aplicação de substâncias húmicas e desenvolvimento de raízes laterais via sinalização por auxina e óxido nítrico. Compostos de natureza auxínica presentes nas substâncias húmicas e auxina sintetizada pela planta sinalizam na raiz para que as células do periciclo entrem novamente em divisão celular, originando raízes laterais. A atividade de H<sup>+</sup>ATPases é ativada, aumentando a extrusão de prótons e a atividade de enzimas sobre a parede celular, favorecendo a divisão e a expansão da célula via rearranjos de parede celular. O óxido nítrico induz a síntese de auxina e o desenvolvimento de raízes laterais. Raízes laterais aumentam o volume radicular, a superfície de contato e a massa seca do órgão, melhorando a capacidade de absorção, importante para a produtividade (Adaptado de ZANDONADI et al., 2010)

Em aparente contradição, foi encontrado que a aplicação de ácidos húmicos purificados em pepino (*Cucumis sativus*) não possui correlação com as mudanças nos níveis de auxina, etileno e óxido nítrico, gerando a diferenciação na arquitetura radicular (MORA et al., 2010). A explicação é que para esta espécie, fatores ainda desconhecidos possuem ação coordenada e independente dos hormônios, modificando a arquitetura radicular.

Substâncias húmicas aplicadas em *Arabidopsis thaliana* causam expressão diferencial de genes. Dentre os genes ativados encontram-se aqueles responsivos a estresses e estímulos (TREVISAN et al., 2010). Em teoria, a ativação destes genes, pode tornar a planta menos sensível aos estresses pelo aumento da capacidade de resposta. Assim, a planta pode perceber rapidamente o estresse em questão, gerando, em contrapartida, uma resposta. Isto tem impacto positivo na agricultura, no sentido de se cultivar plantas mais tolerantes a estresses.

Outros estudos demonstraram que os ácidos húmicos e fúlvicos além de resultarem em crescimento do sistema radicular, incrementam também a biomassa da parte aérea. Isto se deve a uma ativação das ATPases bombeadoras de prótons presentes na membrana celular, que levaram a uma maior troca de íons e, assim, maior absorção de nutrientes, como nitratos, os quais favorecem o crescimento vegetativo (MORA et al., 2010). Estas evidências também foram encontradas em estudos com milho (CANELLAS et al., 2002; QUAGGIOTTI et al., 2004; ZANDONADI et al., 2007) e pepino (PINTON et al., 1999; AGUIRRE et al., 2009).

Apesar dos efeitos benéficos dos ácidos húmicos e fúlvicos no desenvolvimento do sistema radicular, a dosagem e a cultura em questão deve ser escolhida com base em ensaios. Como exemplo, em geranium, uma dosagem de

2500 mg L<sup>-1</sup> de ácido húmico aplicado no substrato, resultou em maior peso fresco de raízes e de plântulas, comparado a dosagem de 5000 mg L<sup>-1</sup>. O incremento de ácido húmico não resultou em maior peso fresco. Além disto, as mesmas dosagens para abóbora e pepino não resultaram em diferenças no peso fresco em relação ao controle, com apenas água aplicada no substrato (HARTWIGSEN; EVANS, 2000).

### **4.3 Síntese de enzimas**

As substâncias húmicas também podem estimular maior síntese de proteínas, em especial de enzimas relacionadas à parede celular, através da síntese de novo RNA. O uso destas substâncias (10% de ácido húmico + 10,2% de ácido fúlvico) na cultura do tomateiro, resultou em estímulo para a síntese das enzimas pectinametilesterase e poligaracturonase. Com isso, houve perda de firmeza dos frutos (PIRES et al., 2009). O aumento da síntese destas enzimas e também da perda de firmeza dos frutos, foi proporcional ao aumento das doses de substâncias húmicas adicionadas. Este tipo de comportamento está também relacionado às respostas da planta ao aumento da auxina, esse hormônio vegetal, com função de crescimento e alongação celular, promove um incremento na síntese das enzimas de degradação da parede celular, facilitando, assim, o processo de crescimento e expansão celular. Desta forma, a escolha do uso de substâncias húmicas para o manejo de diferentes culturas deve ser cuidadosa, a fim de se evitar prejuízos, em função de desequilíbrio hormonal e enzimático.

#### 4.4 Germinação de sementes

As propriedades que os ácidos húmicos e fúlvicos possuem de estimularem a síntese de hormônios vegetais, como a auxina, e ainda de enzimas, promovem outros efeitos nas plantas, que favorecem a germinação, florescimento e crescimento da parte aérea. Estudos com Petúnia em cultivo protegido, demonstram que o uso de substâncias húmicas acelera o processo de germinação das sementes e incrementa o crescimento e florescimento. O aumento da germinação das sementes é proporcional à quantidade de substâncias húmicas aplicadas. O crescimento vegetativo, assim como do sistema radicular, tem um comportamento exponencial em relação ao aumento da dose dos compostos húmicos, já que abaixo e acima de 30- 40% de vermicomposto e abaixo ou acima de 60-70% de MM360 (mistura de compostos orgânicos a base de fibra de coco, vermiculita, calcário dolomítico e turfa) tem-se menor quantidade de raiz e de massa seca (ARANCON et al., 2008). A presença destes compostos permite que ocorra estímulo na produção de auxina, giberelina e citocinina em plantas, devido provavelmente, a atividade de minhocas no composto orgânico (KRISHNAMOORTHY et al., 1986), aumento na atividade de enzimas que estão relacionadas com os processos de germinação, florescimento, crescimento vegetativo e aumento de microrganismos próximos a superfície das raízes que têm maior facilidade de penetração devido ao maior afrouxamento da parede celular em decorrência da presença de compostos com subunidades da auxina (CONCEIÇÃO et al., 2009).

### 5.1 Aplicações na cultura da cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar é uma das culturas em que o uso de condicionadores de solo (ácidos húmicos e fúlvicos) vêm sendo testados. Trabalhos e experimentos realizados mostram grande eficiência na produtividade desta cultura, visto que promove um maior desenvolvimento vegetativo, proporcionado por um sistema radicular mais vigoroso e amplo, com maior exploração do volume do solo (BEAUCLAIR et al., 2010). Estes autores ainda relatam que há evidências de que parcelas que receberam os condicionadores de solo apresentaram menos sintomas dos efeitos da estiagem em relação às parcelas sem este insumo, além de aumento da produtividade, da produção de açúcar total recuperável (ATR) por unidade de área, maior número de perfilhos, maior diâmetro e maior peso dos colmos em relação às áreas sem estas substâncias. Resultados semelhantes foram encontrados em outros estudos envolvendo o uso de ácido húmico (GOVINDASMY e CHANDRASEKARAN, 1992).

Em dois destes trabalhos realizados com a cultura da cana-de-açúcar, quando usaram o condicionador de solo na concentração de 300 litros por hectare e mais 1600 kg ha<sup>-1</sup> de adubação mineral (2,5-10-10), houve um incremento significativo na produtividade da cana-planta em relação ao tratamento com uso apenas do adubo mineral. Ainda, quando usaram em “cana de inverno” observaram que as parcelas com o condicionador de solo apresentaram maior curva de crescimento de massa verde em relação às outras parcelas sem este insumo (BEAUCLAIR et al., 2010).

Segundo estudo realizado com substâncias húmicas (12% de ácido húmico e 3% de ácido fúlvico) aplicadas no sulco do plantio de cana, em região do cerrado, no mês de março, as respostas variaram de acordo com a variedade e a época de avaliação. Foi observado incremento no acúmulo de sacarose para a variedade SP91-3011 quando avaliada em junho e julho e maior teor de sólidos solúveis do caldo (°Brix) para a variedade RB72454, quando avaliada em agosto (ROSATO; BOLONHEZI; FERREIRA, 2010). Isso demonstra que o uso das substâncias húmicas pode ser eficiente no manejo da cultura da cana-de-açúcar, porém, deve-se considerar a variedade e a época de colheita.

## **5.2 Aplicações em culturas de grãos**

Considerando o uso de substâncias húmicas no cultivo de soja e milho, existem alguns estudos que comprovam o benefício na produtividade destas culturas, assim como outros que são contrários a estes resultados. Bowden et al., (2010) verificaram efeitos positivos para a cultura da soja quando manejada em solos orgânicos constituídos de substâncias húmicas. Os resultados demonstraram aumento da produtividade (9-21%), do teor de proteínas (4-9%) e do peso das sementes (5-14%), devido, em especial, ao melhor uso da água e dos nutrientes disponíveis no solo. Porém, para a cultura do milho este efeito não foi o mesmo, visto que a resposta positiva na produtividade foi mais bem relacionada com o acúmulo de nitrogênio nas folhas do que com o carbono do solo humidificado. Resultado semelhante foi obtido por Verlinden et al. (2009) quando cultivaram milho com substâncias húmicas (mistura líquida de 12% de ácido húmico e 3% de ácido fúlvico). Foi observado apenas um pequeno aumento na produtividade quando o milho foi

cultivado em solo argiloso e não houve efeito das substâncias húmicas, quando cultivado em solo arenoso. Isso pode ter ocorrido pela menor interação com os complexos de areia, já que os ácidos húmicos, segundo Cornejo e Hermosín (1996), precipitam em condições de solo arenoso, pois são formadas forças de repulsão pela interação areia e ácidos húmicos.

### **5.3 Aplicações em olerícolas**

Dentre as olerícolas de maior valor econômico no Brasil tem-se a batata e o tomate. A batata, devido ao uso abusivo de fertilizantes, é um tubérculo que merece destaque quando são realizados experimentos com uso de ácidos húmicos e fúlvicos. Em estudo realizado na Bélgica, o uso da mistura líquida húmica com ácidos húmicos, em solos para o cultivo de batata, em conjunto com adubos minerais, observou-se ganho produtivo entre 13 e 17% em relação ao cultivo sem o uso destes condicionadores de solo. Além disso, o uso destas substâncias promoveu maior absorção de nitrogênio, fósforo, potássio e magnésio pelas plantas (VERLINDEN et al., 2009).

Em tomateiro, existem estudos que comprovam o aumento da firmeza dos frutos com aplicações pós-transplante de substâncias húmicas junto com substratos (PIRES et al., 2007). Neste estudo, os autores observaram interferência do substrato na ação do composto húmico (10% de ácido húmico e 10,2% de ácido fúlvico). Apenas quando associado com a fibra de coco que houve incremento da firmeza dos frutos à medida que as doses do composto aumentavam e, ainda, redução da atividade das enzimas poligacturonase (PG) e pectinametilesterase (PME), responsáveis pela degradação da parede celular. Segundo

Yildirim (2007), o uso de ácidos húmicos ( $20 \text{ mL L}^{-1}$ ) via foliar, na cultura do tomate, em cultivo protegido, resultou em maior ganho na produtividade, já que ocorreu um aumento no tamanho das folhas e, por consequência, aumento do número de frutos por planta, maior diâmetro e peso dos frutos. A resistência a condições salinas por sementes e mudas de tomateiro também foi avaliada em decorrência do uso de ácidos húmicos e o resultado, mais uma vez, foi positivo quando se aplicou  $1000 \text{ mg kg}^{-1}$  de ácido húmico e de  $100$  a  $200 \text{ mg kg}^{-1}$  de cálcio (TURKMEN et al., 2004). Além de favorecer o crescimento das mudas, o uso destas substâncias também colaborou com o aumento do nível de nutrientes nas plantas. Também houve resultado satisfatório na cultura do tomate quando cultivado com substâncias húmicas, em condição hidropônica. Com o uso destas substâncias após o transplântio, houve incremento no peso seco das partes da planta de 22 para 29%, sendo com maior incremento para as flores, trazendo uma antecipação do florescimento (KAEMMERER; EYHERAGUIBEL, 2004).

Em pimentas, o uso de ácidos húmicos no solo e via foliar, em concentrações de  $0$  a  $40 \text{ mL L}^{-1}$  com aplicações após 3 semanas do plantio, e 3 vezes a cada 15 dias, resultou em maior peso médio dos frutos e maior acúmulo de clorofila. Porém, os resultados para diâmetro, tamanho e firmeza dos frutos não foram diferentes daqueles obtidos de plantas cultivadas sem ácidos húmicos (KARAKURT et al., 2009). Além disso, segundo Gulser; Sonmez e Boysan (2010), o uso de ácidos húmicos permite maior resistência das mudas de pimenta sob condições salinas, resultando em incremento na massa fresca e seca de folhas e raiz, maior comprimento da raiz e do caule e maior diâmetro do caule, quando aplicadas doses de  $1000$  a  $2000 \text{ mg kg}^{-1}$  de ácido húmico e  $50 \text{ mg kg}^{-1}$  de nitrato de cálcio.

Um interessante efeito evidenciado em pesquisa com a cultura de alface, após o plantio de tomate, foi a interferência do ácido húmico no efeito alelopático que exsudados do sistema radicular do tomateiro provocam no crescimento do sistema radicular da alface. Quando a alface foi cultivada após a retirada do tomate e com uso do ácido húmico, houve maior germinação e maior crescimento radicular, efeito diferente de quando a alface foi cultivada logo após o tomate sem a substância húmica (LOFFREDO; LAERA; SENESI, 2004). Isso indica que as substâncias húmicas podem agir como neutralizadoras dos efeitos alelopáticos das culturas, podendo, assim, serem usadas na rotação de culturas, mas com cuidado, quando o efeito alelopático não é desejado.



## 6 MECANISMOS DE AÇÃO DAS SUBSTÂNCIAS HÚMICAS

O sintoma mais marcante resultante da ação das substâncias húmicas nas plantas é o aumento do crescimento radicular, que influencia processos de absorção de nutrientes e consequentemente, a produtividade na parte aérea. Entretanto, o crescimento é a soma de processos que ocorrem na planta, cuja intensidade é modificada sob ação das substâncias húmicas. Dentre esses, destacam-se alterações metabólicas e a sinalização hormonal.

Uma análise de frações dos ácidos húmicos em plântulas de milho, revelou que estas são capazes de estimular o metabolismo primário. A atividade de várias enzimas da via glicolítica e o ciclo dos ácidos tricarboxílicos foi significativamente aumentado com uma dose de  $1 \text{ mg C L}^{-1}$  de substância húmica (NARDI et al., 2007). Uma das grandes importâncias da glicólise e o ciclo dos ácidos tricarboxílicos na célula, que é a geração de intermediários metabólicos que irão entrar em rotas para a síntese de aminoácidos, ácidos nucleicos, açúcares da parede celular etc. Neste sentido, o metabolismo primário possui impacto direto no crescimento, com o mínimo necessário para que este ocorra, uma vez que a formação de novas células necessitam de compostos oriundos das vias metabólicas. Por estimular as vias metabólicas, as substâncias húmicas são benéficas ao crescimento. Uma grande vantagem do aumento da atividade enzimática, é que permite ajustar rapidamente o metabolismo, independente da expressão gênica ou abundância proteica, direcionando as vias para as necessidades das células (PLAXTON, 2004). Embora existam trabalhos enfatizando sobre os estímulos que as substâncias húmicas exercem na expressão de

genes relacionados ao metabolismo ou atividade enzimática, a junção de dados da expressão gênica, atividade enzimática e abundância de proteínas permanece como um desafio. Um estudo da abundância de isoformas das proteínas de membrana de raízes de plântulas de milho tratadas com substâncias húmicas revelou que ao menos 42 proteínas tiveram a abundância modificada em função do tratamento (CARLETTI et al., 2008). Dentre as proteínas, algumas pertencentes ao metabolismo primário tiveram a abundância reduzida, outras com função de organização de membrana, secreção e transporte de substâncias, assim como a subunidade alfa da ATP-sintase mitocondrial, tiveram a abundância aumentada. A comunicação entre vias metabólicas e o balanço energético na célula torna as interpretações complexas, principalmente para direcionar tais alterações como parte de uma resposta de crescimento, entretanto fazem parte de um mecanismo de resposta celular. Estudos futuros com enfoque em modelagem metabólica poderão auxiliar na interpretação sobre a importância relativa de cada evento na resposta da planta às substâncias húmicas (Figura 4).

A assimilação de C e N é fundamental para o crescimento vegetal. Substâncias húmicas derivadas da decomposição da lignina estimularam o aumento do conteúdo de clorofila assim como a atividade da rubisco (ERTANI et al., 2011). A atividade das enzimas glutamina sintetase e glutamato sintase também foi aumentada, sendo que estas são chaves para assimilação do N. O aumento do teor de clorofila confere à planta maior capacidade de absorção luminosa, o que estimula a maquinaria fotossintética, incluindo a rubisco, conferindo maior ganho de C. Maior ganho de C é importante para abastecer a planta com carboidratos, atuando como esqueletos de carbono para a síntese de outros compostos

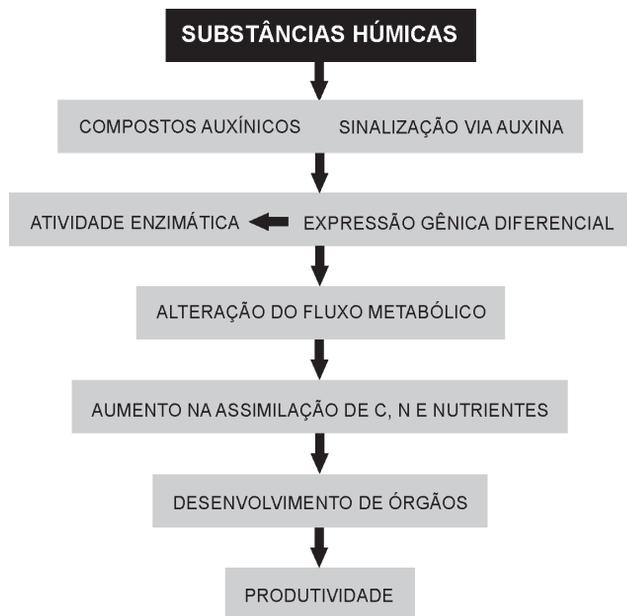


Figura 4 - Mecanismo de ação das substâncias húmicas no metabolismo e desenvolvimento da planta. A sinalização mediada por auxina leva a modificações da atividade enzimática nas vias metabólicas. A atividade enzimática pode ser alterada rapidamente, independente da expressão gênica. A longo prazo, a expressão gênica irá contribuir para o aumento da abundância ou redução de isoformas enzimáticas que ditam a ritmo do fluxo metabólico. Assim, o fluxo metabólico pode ser aumentado e em conjunto, a demanda por assimilação de C e N. Os produtos formados serão usados no desenvolvimento de órgãos, levando a um incremento de produtividade

e também para a geração de energia de suas ligações. Junto com o ganho de C, a assimilação de N contribui para o crescimento dos órgãos e aumento da massa seca. O crescimento da raiz deverá, a longo prazo, refletir no aumento da produtividade. As substâncias húmicas podem melhorar

o crescimento, em parte por modificar estes processos. Em milho, foi verificado que o tratamento com substâncias húmicas de pequeno tamanho molecular, induziu a um maior acúmulo de nitrato nas folhas, em função do aumento de sua absorção pelas raízes e transporte para as folhas (QUAGGIOTTI et al., 2004). A expressão de transportadores de nitrato não foi alterada na raiz, sugerindo que mecanismos pós-traducionais podem estar envolvidos. A expressão de uma isoforma de H<sup>+</sup>ATPase (MHa2) foi induzida em raízes com a aplicação de substâncias húmicas. O transportador de nitrato ZmNrt2.1 teve a expressão induzida apenas na parte aérea. O bombeamento de prótons é essencial para a absorção de nutrientes e a expressão de genes pode fazer parte deste mecanismo. O aumento da expressão do transportador apenas na parte aérea, sugere uma comunicação a longa distancia entre a raiz e a parte aérea, além de uma regulação da expressão gênica diferencial entre as partes, induzida pelas substâncias húmicas (Figura 4).

As substâncias húmicas possuem potencial para uso agrícola devido às suas propriedades de alta capacidade de troca iônica e, principalmente, devido à sua composição, que favorece e estimula respostas equivalentes aos hormônios vegetais auxina, gibberelina e citocinina.

A escolha e a aplicação dos ácidos húmicos deve ser criteriosa, de acordo com a cultura a ser manejada, no solo de cultivo, e aos nutrientes e defensivos agrícolas a serem utilizados, pois estas substâncias auxiliam positivamente a estrutura física e química do solo, assim como incrementam a biomassa do sistema radicular e da parte aérea. Porém, podem estimular o amadurecimento acelerado de frutos, levando a maior perda de firmeza; promover a absorção de defensivos agrícolas tóxicos para as plantas, pelos complexos que formam com certas substâncias, levando a efeitos indesejáveis às culturas de interesse agrícola.

Os ácidos húmicos e fúlvicos, apesar de serem diferentes em termos de peso molecular e capacidade de troca iônica, resultam em benefícios similares às culturas. Ainda há necessidade de maiores estudos sobre a funcionalidade e especificidade dos efeitos que cada substância húmica exerce nas espécies vegetais de interesse econômico.



AGUIRRE, E.; LEMÉNAGER, D.; BACAICOA, E.; FUENTES, M.; BAIGORRI, R.; ZAMARREÑO, A.M.; GARCÍA-MINA, J.M. The root application of a purified leonardite humic acid modifies the transcriptional regulation of the main physiological root responses to Fe deficiency in Fe-sufficient cucumber plants. **Plant Physiology and Biochemistry**, Paris, v. 47, p. 215-223, 2009.

ARANCON, N.Q.; EDWARDS, C.A.; BABENKO, A.; CANNON, J.; GALVIS, P.; METZGER, J.D. Influence of vermicomposts, produced by earthworms and microorganisms from cattle manure, food waste and paper waste, on the germination, growth and flowering of petunias in the greenhouse. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 39, p. 91-99, 2008.

BAIGORRI, R.; FUENTES, M.; GONZALEZ-GAITANO, G.; GARCIA-MINA, J. M. The importance of metal bridges in the final molecular configuration and conformation of humic substances in solution. In: INTERNATIONAL MEETING OF INTERNATIONAL HUMIC SUBSTANCES SOCIETY, 12., 2004, São Pedro. **Humic substances and soil and water environment: proceedings...** São Paulo: IHSS, 2004. p. 29.

BALDOTTO, M.A.; CANELLAS, L.P.; CANELA, M.C.; REZENDE, C.E.; VELLOSO, A.C.X. Propriedades redox de ácidos húmicos isolados de um solo cultivado com cana-de-açúcar e por longo tempo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 1043-1052, 2008.

BEAUCLAIR, E.G.F.; GULLO, M.J.M.; TOMAZ, H.V.Q.; SCARPARI, M.S.; OTAVIANO, J.A. Uso de condicionador de solo a base de ácido húmico na cultura da cana-de-açúcar. **STAB**, Piracicaba, v. 28, p. 42-45, 2010.

BOWDEN, C.L.; EVANYLO, G.K.; ZHANG, X.; ERVIN, E.H.; SEILER, J.R. Soil carbon and physiological responses of corn and soybean to organic amendments. **Compost Science and Utilization**, Emmaus, v. 18, p. 162-173, 2010.

BOYHAN, G.E.; RANDLE, W.M.; PURVIS, A.C. Evaluation of growth stimulants on short-day onions. **Hortechology**, Alexandria, v. 11, n.1, p. 38-42, 2001.

BÜYÜKKESKIN, T.; AKINCI, S. EROGLU, A.E. Effects of humic acid on root development and nutrient uptake of *Vicia faba* L. (Broad Bean) seedlings grown under aluminium toxicity. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 46, p. 277-292, 2015.

CANELLAS, L.P.; OLIVARES, F.L.; FAÇANHA, A.L.O.; FAÇANHA, A.R. Humic acids isolated from earthworm compost enhance root elongation, lateral root emergence, and plasma membrane H<sup>+</sup> ATPase activity in maize roots. **Journal of Plant Physiology**, Jena, v. 130, p. 1951-1957, 2002.

CANELLAS, L.P.; ZANDONADI, D.B.; MÉDICI, L.O.; PERES, L.E.P.; OLIVARES, F.L.; FAÇANHA, A.R. Bioatividade de substâncias húmicas: ação sobre desenvolvimento e metabolismo das plantas. In: CANELLAS, L.P. e SANTOS, G.A. (Ed.). **Humosfera**: tratado preliminar sobre a química das substâncias húmicas. Campos dos Goytacazes: CCTA, UENF, 2005. p. 224-243.

CARLETTI, P.; MASI, A.; SPOLADORE, B.; DE LAURETO, P.P.; ZORZI, M.; TURETTA, L.; FERRETI, M.; NARDI, S. Protein expression changes in maize roots in response to humic substances. **Journal of Chemical Ecology**, New York, v. 34, n. 6, p. 804-818, 2008.

CASIMIRO, I.; MARCHANT, A.; BHALERAO, R.P.; BERCKMAM, T.; DHOOGHE, S.; SWARUP, R.; GRAHAM, N.; INZÉ, D.; SANPBERG, O.; CASERO, P.S.; BENNETT, M. Auxin transport promotes Arabidopsis lateral root initiation. **The Plant Cell**, Rockville, v. 13, n. 4, p. 843-852, 2001.

CHEN, Y.; NOBILI, M.; AVIAD, T. Effects of humic substances on plant growth. In: MACCARTHY, P.; CLAPP, C.E.; MALCOM, R.L.; BLOOM, P.R. (Ed.). **Humic substances in soils and crop science: selected readings**. Madison: Soil Science Society of America, 1990. p. 161-186.

ÇIMRIN, K.M.; TURKMEN, Ö.; TURN, M.; TUER, B. Phosphorus and humic acid application alleviate salinity stress on pepper seedling. **African Journal of Biotechnology**, Victoria Island, v. 9, n. 36; p. 58-45-5856.

CONCEIÇÃO, P.M.; VIEIRA, H.D.; CANELLAS, L.P.; OLIVARES, F.L.; CONCEIÇÃO, P.S. Efeito dos ácidos húmicos na inoculação de bactérias diazotróficas endofíticas em sementes de milho. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 6, p. 1880-1883, 2009.

CORNEJO, J.; HERMOSÍN, M. C. Interaction of humic substances and soil clays. In: PICCOLO, A. **Humic substances in terrestrial ecosystems**. Amsterdam: Elsevier Science B.V., 1996. p. 595-625.

DOBBSS, L.B.; CANELLAS, L.P.; OLIVARES, F.L.; AGUIAR, N.O.; PERES, L.E.P.; AZEVEDO, M.; SPACCINI, R.; PICCOLO, A.; FAÇANHA, A.R. Bioactivity of chemically transformed humic matter from vermicompost on plant root growth. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 58, p. 3681-3688, 2010.

ERTANI, A.; FRANCIOSO, O.; TUGNOLI, V.; RIGHI, V.; NARDI, S.A. Effect of commercial lignosulfonate-humate on *Zea mays* L. metabolism. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 59, n. 22, p. 11940-11948, 2011.

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. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 9, p. 1301-1310, 2002.

GONZÁLEZ, M.; GOMEZ, E.; COMESE, R.; QUESADA, M.; CONTI, M. Influence of organic amendments on soil quality potential indicators in an urban horticultural system. **Bioresource Technology**, New York, v.101, p. 8897-8901, 2010.

GOVINDASMY, R.; CHANDRASEKARAN, S. Effect of humic acids on the growth, yield and nutrient content of sugarcane. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 118, p. 575-581, 1992.

GULSER, F.; SONMEZ, F.; BOYSAN, S. Effects of calcium nitrate and humic acid on pepper seedling growth under saline condition. **Journal of Environmental Biology**, Lucknow, v. 31, p. 873-876, 2010.

HARTWIGSEN, J.A.; EVANS, M.R. Humic acid seed and substrate treatments promote seedling root development. **HortScience**, Alexandria, v. 35, n. 78, p. 1231-1233, 2000.

KAEMMERER, M.; EYHERAGUIBEL, B. Effects of commercial humate on tomato growth. In: INTERNATIONAL MEETING OF INTERNATIONAL HUMIC SUBSTANCES SOCIETY, 12., 2004, São Pedro. **Humic substances and soil and water environment: proceedings...**São Paulo: IHSS, 2004. p. 99.

KARAKURT, Y.; UNLU, H.; UNLU, H.; PADEM, H. The influence of foliar and soil fertilization of humic acid on yield and quality of pepper. **Acta Agriculturae Scandinavica**. Section B. Soil and Plant Science, Stockholm, v. 59, p. 233-237, 2009.

KIEHL, E.J. **Fertilizantes orgânicos**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1985. 492 p.

KRISHNAMOORTHY, R.V., VAJRANABHIAH, S.N. Biological activity of earthworm casts: an assessment of plant growth promotor levels in casts. **Proceedings of the Indian Academy of Sciences**, Bangalore, v. 95, p. 341-435, 1986.

LOFFREDO, E.; LAERA, S.; SENESI, N. Effects of soil humic on allelopathic potential of root exudates from tomato plants. In: INTERNATIONAL MEETING OF INTERNATIONAL HUMIC SUBSTANCES SOCIETY, 12., 2004, São Pedro.

**Humic substances and soil and water environment:**

proceedings... São Paulo: IHSS, 2004. p. 99.

MORA, V.; BACAICOA, E.; ZAMARREÑO, A.M.; AGUIRRE, E.; GARNICA, M.; FUENTES, M.; GARCÍA-MINA, J.M. 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**, Jena, v. 167, p. 633-642, 2010.

NARDI, S.; MUSCOLO, A.; VACCARO, S.; BAIANO, S.; SPACCINI, R.; PICOLLO, A. Relationship between molecular characteristics of soil humic fractions and glycolytic pathway and krebs cycle in mayze seedling. **Soil Biology & Biochemistry**, Kidlington, v. 39, p. 3138-3146, 2007.

OUNI, Y.; GHNAYA, T.; MONTEMURRO, F.; ABDELLY, C.; LAKHADAR, A. The role of humic substances in mitigating the harmful effects of soil salinity and improve plant productivity. **International Journal of Plant Productivity**, Berlin, v. 8, n. 3, p. 353-374, 2014.

PINTON, R.; CESCO, S.; SANTI, S. AGNOLON, F.; VARANINI, Z. Water-extractable humic substances enhance iron deficiency responses by Fe-deficient cucumber plants. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 210, p. 145-157, 1999.

PIRES, C.R.F.; LIMA, L.C.O.; VILAS BOAS, E.V.B.; ALVES, R.R. Qualidade textural de tomates cultivados em substratos orgânicos submetidos à aplicação de substâncias húmicas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 11, p. 1467-1472, 2009.

PLAXTON, W. C. Principles of metabolic control. In: STOREY, K.B. (Ed.). **Functional metabolism: regulation and adaptation**. New Jersey: Wiley, 2004. 239 p.

QUAGGIOTTI, S.; RUPERTI, B.; PIZZEGUELLO, D.; FRANCIOSO, O.; TUGNOLLI, V.; MARDI, S. Effect of low molecular size humic substances on nitrate uptake and expression of genes involved in nitrate transport in maize (*Zea mays* L.). **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 55, p. 803-813, 2004.

REVORED, M.D.; MELO, W.J. Nickel in the humic substances of soil after applications of sewage sludge contaminated with increasing rates of the metal and a cultivation with sorghum. In: INTERNATIONAL MEETING OF INTERNATIONAL HUMIC SUBSTANCES SOCIETY, 12., 2004, São Pedro. **Humic Substances and Soil and Water Environment: Proceedings...** São Paulo: IHSS, 2004. p. 79.

ROSATO, M.M.; BOLONHEZI, A.C.; FERREIRA, L.H.Z. Substâncias húmicas sobre qualidade tecnológica de variedades de cana-de-açúcar. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 11, n. 1, p. 43-48, 2010.

SAMAC, D.A.; TESFAYE, M. Plant improvement for tolerance to aluminum in acid soils: a review. **Plant Cell, Tissue and Organ Culture**, Dordrecht, v. 75, n. 3, p. 189-207, 2003.

SASAL, C.; ANDRIULO, A.; ULLÉ, J.; ABREGO, F.; BUENO, M. Efecto de diferentes enmiendas sobre algunas propiedades edáficas, en sistemas de producción hortícola del centro norte de la región pampeana. **Ciencia del Suelo**, Buenos Aires, v. 18, p. 95-104, 2000.

SEQUI, P. Humic substances: general influences on soil fertility. In: BURNS, R.G.; DELLÁGNOLA, G.; MIELE, S.; NARDI, S.; SAVOINI, G.; SCHNITZER, M.; SEQUI, P.; VAUGHAN, D.; VISSER, S.A. **Humic substances: effects on soil and plants**. 1986.

SERUDO, R.L.; ROCHA, J.C.; SILVA, H.C.; PATERLINI, W.C.; ROSA, A.H. Reduction of mercury (Hg) by tropical soil humic substances from Carvoeiro Region (battered by black water) - Rio Negro - AM/Brasil. In: INTERNATIONAL MEETING OF INTERNATIONAL HUMIC SUBSTANCES SOCIETY, 12., 2004, São Pedro. **Humic substances and soil and water environment: proceedings...** São Paulo: IHSS, 2004. p.78.

SPOSITO, G. **The chemistry of soils**. New York: Oxford University Press, 2004. 277p.

STEVENSON, F.J. **Humus chemistry: genesis, composition, reactions**. New York: John Wiley, 1994. 512 p.

TAN, K.H. **Principles of soil chemistry**. 2<sup>nd</sup> ed. New York: Marcel Dekker, 1993. 362 p.

TEJADA, M.; GONZÁLEZ, J.L. Effects of foliar application of a byproduct of the two-step olive oil mill process on rice yield. **European Journal of Agronomy**, Montpellier, v. 21, p. 31-40, 2004.

TEJADA, M.; GONZÁLEZ, J.L.; GARCÍA-MARTÍNEZ, A.M.; PARRADO, J. Application of a green manure and green manure composted with beet vinasse on soil restoration: effects on soil properties. **Bioresource Technology**, New York, v. 99, p. 4949-4957, 2008.

TREVISAN, S.; PIZZEGUELLO, D.; REPERTI, B.; FRANCIOSO, O.; SASSI, A.; PALME, K.; QUAGGIOTTI, S.; NARDI, S. Humic substances induce lateral root formation and expression of the early auxin-responsive IAA 19 gene and DR5 synthetic element in *Arabidopsis*. **Plant Biology**, Berlin, v. 12, p. 604-614, 2010.

TURKMEN, O.; DURSUN, A.; TURAN, M.; ERDINC, C. Calcium and humic acid affect seed germination, growth, and nutrient content of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) seedlings under saline soil conditions. **Acta Agriculturae Scandinavica, Section B- Soil and Plant Science**, Stockholm, v. 54, p. 168-174, 2004.

VAN DUIN, A.; JONES, M.; COLLINS, M.; GRAHAM, M.; FARMER, J. The use of computational chemistry to investigate the behavior of PAHs in sediments. In: **Urgent Annual Meeting 2000**: soil science projet presentations. 2000. Disponível em: <<http://urgent.nerc.ac.uk/Meetings/2000/2000Proc/soils/duin.htm>>. Acesso em: 27 jul. 2015.

VAUGHAN, D.; MALCOM, R.E.; ORD, B.G. Influence of humic substances on biochemical processes in plants. In: VAUGHAN, D. **Soil Organic Matter and Biological Activity**. Dordrecht: Martinus Nijhoff; Dr W Junk, 1985. p. 77-108.

VERLINDEN, D.; PYCKE, B.; MERTENS, J.; DEBERSAQUES, F.; VERHEYEN, K.; BAERT, G.; BRIES, J.; HAESAERT, G. Application of humic substances results in consistent increases in crop yield and nutrient uptake. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 32, p. 1407-1426, 2009.

VON UEXKÜLL, H.R.; MUTERT, E. Global extent, development and economic impact of acid soils. **Plant Soil**, Dordrecht, v. 171, n 1, p. 1-15.

YILDIRIM, E. Foliar and soil fertilization of humic acid affect productivity and quality of tomato. **Acta Agriculturae Scandinavica, Section B- Soil and Plant Science**, Stockholm, v. 57, p. 182-186, 2007.

ZANDONADI, D.B.; CANELLAS, L.P.; FAÇANHA, A.R. Indolacetic and humic acids induce lateral root development through a concerted plasmalemma and tonoplast H<sup>+</sup> pumps activation. **Planta**, Berlin, v. 225, p. 1583-1595, 2007.

ZAMPONADI, D.B.; SANTOS, M.P.; DOBBSS, L.B.; OLIVARES, F.L.; CANELLAS, L.P.; BINZEL, M.L.; OKOROKOVA-FAÇANHA, A.L.; FAÇANHA, A.R. Nitric oxide mediates humic acids-induced root development and plasma membrane H<sup>+</sup>ATPase activation. **Planta**, Heidelberg, v. 231, n. 5, p. 1025-1036, 2010.

## **INFORMAÇÕES AOS AUTORES**

A Série Produtor Rural é editada desde 1997 pela Divisão de Biblioteca da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”/USP e tem como objetivo publicar textos acessíveis aos produtores com temas diversificados e informações práticas, contribuindo para a Extensão Rural.

### **Pode publicar**

- Pesquisadores e docentes da ESALQ e CENA;
- Alunos cujos textos serão revisados por orientadores ou quem o Presidente da Comissão de Cultura e Extensão designar;
- Demais pesquisadores, porém, com a chancela da Comissão de Cultura e Extensão que avaliará os textos previamente.

### **Requisitos para publicação**

- Texto redigido em Word, com linguagem simples, acessível e didática a ser encaminhado para: [referencia.esalq@usp.br](mailto:referencia.esalq@usp.br)
- Ilustrações e figuras em alta resolução, facilitando a compreensão do texto.

**[www4.esalq.usp.br/biblioteca/publicacoes-a-venda/serie-produtor-rural](http://www4.esalq.usp.br/biblioteca/publicacoes-a-venda/serie-produtor-rural)**

### **COMO ADQUIRIR**

Para adquirir as publicações, depositar no Banco do Brasil, Agência 0056-6, C/C 306.344-5 o valor referente ao(s) exemplare(s), acrescido de R\$ 7,50 para o envio, posteriormente enviar via fax (19) 3429-4340, e-mail ou correspondência o comprovante de depósito, o(s) título(s) da(s) publicação(ões), nome e endereço completo para fazermos o envio, ou através de cheque nominal à Universidade de São Paulo - ESALQ.

Acesse nosso site

**[www4.esalq.usp.br/biblioteca](http://www4.esalq.usp.br/biblioteca)**

# Série Produtor Rural USP/ESALQ/DIBD

A Série Produtor Rural é editada desde 1997 pela Divisão de Biblioteca da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”/USP e tem como objetivo publicar textos acessíveis aos produtores com temas diversificados e informações práticas, contribuindo para a Extensão Rural.