



FUNDAÇÃO  
MOKITI OKADA - M.O.A.  
Centro de Pesquisa  
Mokiti Okada - CPMO

## Efeito dos Agrotóxicos no Solo

Prof. Dr. Hasime Tokeshi

Consultor Científico do Centro de Pesquisa Mokiti Okada – CPMO

### 1- Introdução

Grande tem sido o progresso das ciências agrônômicas, bem como a especialização dos seus profissionais, principalmente dentro das universidades e centros de pesquisa estatais e privados. Como ocorre em outras áreas, a agronomia também está gerando super especialistas, principalmente dentro das universidades formando profissionais incapazes de analisar os problemas agrícolas como um todo. Professores e pesquisadores ganharam excelência em conhecimentos somente na sua área de pesquisa perdendo a visão global do problema enfrentado pelos agricultores. É preciso pensar que além dos objetivos profissionais do agrônomo de orientar o controle dos problemas do produtor, deve existir a preocupação com o meio ambiente. O uso indiscriminado de agrotóxicos (inseticida e fungicida) e adubações desequilibradas está causando doenças nas plantas, reduzindo a biodiversidade do solo e ecossistema como um todo. Isto ocorre porque na aplicação de agrotóxicos 50 a 80 % não atingem a planta e caem diretamente no solo. O uso inadequado dos agrotóxicos é ocasionado pelo desconhecimento dos seguintes pontos: a) Os insetos e ácaros comedores de plantas não têm enzimas para digerir proteínas e se alimentam de aminoácidos livres (pedaços de proteínas) fornecidos pelas plantas ou por microrganismos associados (simbiontes) que vivem no seu intestino desses animais Panizzi e Parra (1991). b) Todos os desequilíbrios nutricionais das plantas levam direta ou indiretamente ao acúmulo de açúcares e aminoácidos livres na planta e isto as tornam suscetíveis as doenças e pragas.

O desconhecimento dos efeitos colaterais dos agrotóxicos, corretivos e fertilizantes no solo e ambiente está gerando nas culturas maior necessidade de agrotóxicos, criando um círculo vicioso que é necessário romper e corrigir para que a **Nave Espacial Terra** seja capaz de sobreviver ao ataque da terrível praga **Homem** que a dominou e a trata como se fosse seu dono e superior aos demais seres vivos do planeta. O homem só é capaz de enxergar as coisas do ponto de vista humano e se esquece que ele faz parte do ecossistema e que qualquer ser vivo é importante neste ecossistema. O que o homem chama de pragas e doenças para a mãe natureza nada mais é que a polícia sanitária responsável pela eliminação dos indivíduos doentes ou em desequilíbrio. Para termos uma idéia mais completa sobre o exposto procuraremos dar uma visão de como a planta se associa com o solo e a biodiversidade aí existente.

### 2) Importância das micorrizas no equilíbrio nutricional das plantas

A importância da micorrizas para as plantas advém da sua ampla distribuição, pois 83% das dicotiledôneas (feijão), 79% das monocotiledôneas (milho) e 100% das gimnospermas (pinheiro) possuem pelo menos uma micorriza. A micorriza vesicular arbuscular (MVA) é a que predomina nas plantas tropicais. A sua importância cresce nos solos pobres da Mata Atlântica da Bahia e Caatinga onde o nível de fósforo e micronutrientes são fatores limitantes para o crescimento dos vegetais. Nos solos tropicais úmidos o crescimento das plantas originárias deste ecossistema (ambiente) são praticamente dependentes das micorrizas para crescerem nas condições naturais sem adubos solúveis.



FUNDAÇÃO  
MOKITI OKADA - M.O.A.  
Centro de Pesquisa  
Mokiti Okada - CPMO

## 2-1) Absorção de fósforo

O exemplo da Figura 1 em trevo serve também para a mandioca e explica a ação da micorriza (MVA) nessas plantas sendo responsável pela sua capacidade de crescer em solo com 1 ppm de fósforo disponível nos solos do Cerrados e Mata Atlântica. Na Figura 1 o trevo branco cresceu em vasos com e sem micorriza e o fósforo disponível foi quantificado antes e depois do cultivo. O controle do fósforo foi feito junto as raízes isoladas com tela de 30  $\mu\text{m}$  que impede os pêlos absorventes de passarem pela tela. À distancia de 20 mm das raízes foi colocada uma segunda tela de 0,45  $\mu\text{m}$ , impedindo a passagem das hifas (filamentos do fungo) da micorriza. Após o crescimento da planta analisou-se o fósforo disponível no solo dos vasos com e sem micorriza. Em presença de micorriza 80 % do fósforo da região H (hifa) distante 20 mm das raízes havia sido absorvido. Como as micorriza (hifas) pararam na tela colocada a 20 mm das raízes, após este ponto o solo manteve 80 % do fósforo disponível sem ser absorvido. Na ausência de micorriza as raízes foram incapazes de absorver o fósforo disponível e 80 a 90 % se manteve no solo na região H (hifa) distante 20 mm das raízes. Após a segunda tela (região BS), o fósforo disponível foi igual ao do vaso com micorriza, pois esta também não atuou após a segunda tela. Outros experimentos feitos com este sistema demonstraram que a hifas da micorriza foram capazes de absorver fósforo a 11 cm de distancia das raízes aumentando muito o volume de solo explorado pela planta e seu simbionte. Liet et al (1991), Römheld (1998). A eficiência e eficácia das hifas da micorriza se devem ao seu pequeno diâmetro e ramificação no solo aumentando a superfície de absorção do fósforo e indiretamente das raízes. Alguns pesquisadores citam aumento da superfície de absorção das raízes com micorrizas em 700 %. As hifas da micorriza são capazes de excretar ácidos orgânicos que solubilizam cristais de fosfato de ferro, zinco e cálcio. As hifas das micorrizas possuem sistema de vacúolos (bolsa) que armazenam fósforo que participam da produção de ATP (fonte de energia) e transporte de nutrientes nas raízes e hifas. A eficiência de micorriza depende da espécie, planta e ambiente como pode ser observado na Tabela 1 obtido de Römheld (1998). Nesta tabela verificamos que a simples colonização das raízes não garante a eficiência de absorção de fósforo. Os estudos gerais de micorriza já determinaram que a extensão das hifas no solo varia de 1 cm a 1 metro e o diâmetro de 1 a 12  $\mu\text{m}$ . A eficiência de absorção de fósforo decresce a medida que a hifa se afasta das raízes. As micorrizas possuem capacidade de disponibilizar fósforo orgânico quelatizado (preso) na matéria orgânica por meio de enzima fosfatase ácida. A atividade da fosfatase ácida de *Glomulus manihotis* é maior entre 1 a 2 cm das raízes e decresce após esta distancia Tarafdar e Marschener (1994). Agrotóxicos como o benlate e glifosato (Round-up) e adubações elevadas de fertilizantes fosfatados anulam ou inibem esta atividade da micorriza.

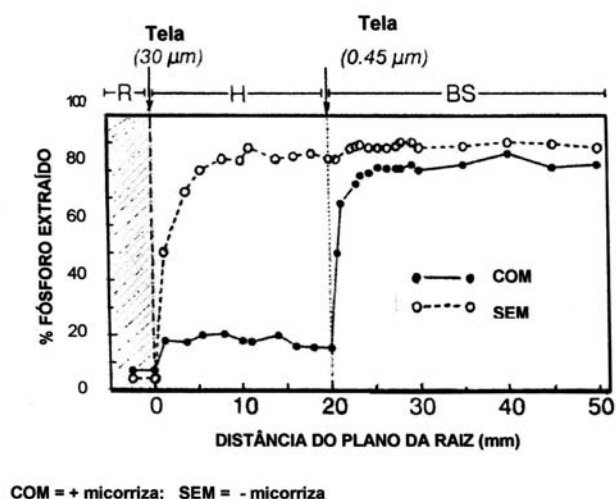


Figura 1. Fósforo solúvel em água extraído nas raízes (R), hifas (H) e solo bruto (BS) em trevo branco micorrizado. Adaptado de Römheld (1998).

Tabela 1. Efeito da espécie de micorriza vesicular arbuscular ( MVA ) na colonização das raízes, peso seco e fósforo absorvido em *Sorgo bicolor* ( sorgo ) durante 48 dias a 25°C.

Micorriza (MVA)	Colonização de raízes		de Peso seco (grama por planta)		Concentração de fósforo (mg/planta)		Ganho %
	% colonizadas	m raízes p/planta	Caule	Raízes			
Controle (-MVA)	0	0	0,46	0,25	0,29	0	
<i>G. macrocarpus</i>	58	189,5	5,27	5,77	5,86	1.920	
<i>G. intraradices</i>	27	7,1	0,45	0,32	0,30	3	
<i>G. fasciculatum</i>	28	19,2	1,10	0,87	0,74	155	

Adaptado de Römheld (1998).



FUNDAÇÃO  
MOKITI OKADA - M.O.A.  
Centro de Pesquisa  
Mokiti Okada - CPMO

## 2-2) Absorção de zinco, cobre, amônia e potássio

As micorrizas são ainda responsáveis pela absorção de outros nutrientes como potássio, zinco, cobre, boro, amônia e possivelmente nitrato, manganês, cálcio, magnésio e sulfato. No esquema da Figura 2 verificamos que os elementos dentro dos círculos são seguramente absorvidos diretamente pelas hifas da micorriza. Os dados disponíveis não permitem ainda quantificar em condições de campo os efeitos da MVA na absorção devido as mudanças morfológicas e fisiológicas causadas pela própria micorrizas nas raízes colonizadas. Na Tabela 2 são apresentados os efeitos de *Glomus mossae* em milho crescendo em solo calcário. Verifica-se que a micorriza aumenta os teores de fósforo, zinco e cobre. Há redução nos teores de potássio, cálcio, manganês, ferro e boro. A presença de micorriza controlou o excesso de cálcio, manganês, ferro e boro resultando no final em aumento de produtividade devido ao equilíbrio nutricional gerado na planta. O mais freqüente, porém é que a aplicação de agrotóxicos causa a morte das micorrizas e aumenta a suscetibilidade a pragas e doenças devido ao desequilíbrio nutricional e o acúmulo de aminoácidos livres na planta. O uso de agrotóxicos como herbicidas hormonais (glifosato), fungicidas e inseticidas matam freqüentemente as micorrizas ou causam desbalanço nutricional que levam a suscetibilidade a pragas e doenças. Este ponto será enfatizado, pois a falta de micronutrientes que atuam como ativadores de enzimas levam ao acúmulo de aminoácidos e açúcares livres na planta e aumento de suscetibilidade a pragas e doenças.

MnO <sub>3</sub> = Óxido de Manganês	RM = Feixe de hifas
N <sub>prot</sub> = Nitrogênio protéico	MO = Matéria orgânica
Pi = Fósforo mineral	R = Radical orgânico
P <sub>org</sub> = Fósforo orgânico	C-COOH = Ácido orgânico

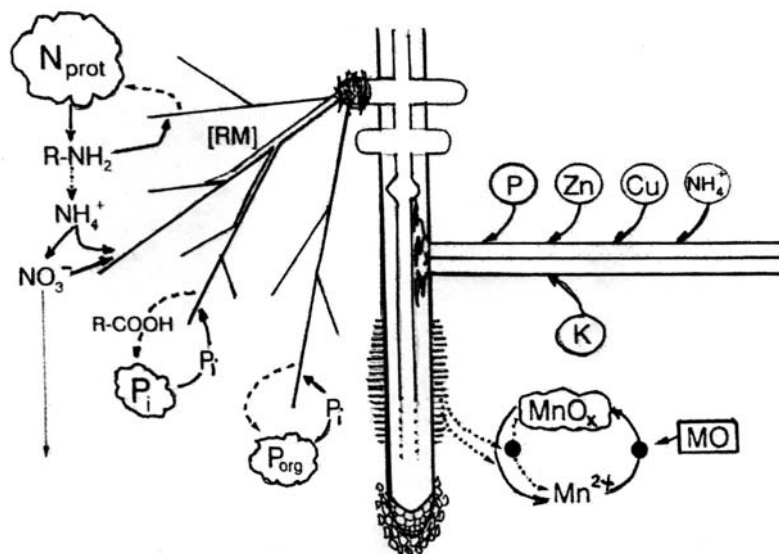


Figura 2. Esquema da dinâmica de absorção de nutrientes na planta pelas micorrizas (MVA) e outros componentes de raízes ectomicorrizadas. Adaptado de Marschner (1995).



FUNDAÇÃO  
MOKITI OKADA - M.O.A.  
Centro de Pesquisa  
Mokiti Okada - CPMO

Tabela 2. Concentração de nutrientes em milho com e sem micorriza *Glomus mossae* em solo calcário.

Nutrientes minerais									
Glomus <i>mossae</i>	Concentração no peso seco dos caules								
	mg por grama				µg por grama				
	K	P	Mg	Ca	Zn	Cu	Mn	Fe	B
Sem	17	2,1	4,0	9,0	10	5,6	139	88	46
Com	12	3,7	4,1	5,3	36	7,1	95	58	55

Adaptado de Römheld (1998).

### 3) Microrganismos das folhas e do solo e sua importância na nutrição e controle de pragas e doenças

O controle biológico de doenças e pragas é extremamente comum nos centros de origem das plantas cultivadas (local onde as plantas evoluíram). O exame do problema nesses centros indica que as plantas evoluíram associadas com os microrganismos por simbiose mutualística (vida em comum). Neste sistema as plantas excretam sais minerais, aminoácidos, ácidos orgânicos e açúcares para favorecer o crescimento de microrganismos das folhas e do solo. Esta associação constante gerou a simbiose mutualística entre microrganismos e plantas superiores. Os estudos da fixação de nitrogênio em gramíneas mostram que os elementos essenciais à planta não podem ser isolados das necessidades das bactérias associadas que fixam o nitrogênio do ar. Para se manter as condições ótimas de fixação do nitrogênio do ar, produção, controle biológico de pragas e doenças é **necessário alimentar a planta e seus organismos associados** Tokeshi (1991). Se admitirmos que a ocorrência de doenças e pragas são resultados do desequilíbrio ecológico, microbiológico e nutricional da planta, fica evidente que nos centros de origem das plantas as doenças e pragas não são devastadoras porque o equilíbrio é mantido. Quando domesticamos a planta e a cultivamos em condições diferentes (monocultura, adubação química e agrotóxicos) estamos destruindo o ambiente original que protegia a planta usando os microrganismos e animais benéficos. A destruição do ambiente original envolveu a vida das folhas e do solo criando assim condições para o surgimento de grandes epidemias de doenças e pragas da atualidade. Na natureza a luta para sobrevivência das espécies tem por base o melhor aproveitamento da energia da matéria orgânica. Como as plantas alimentam as micorrizas, fornecendo de 20 a 50% dos produtos da fotossíntese, isto significa que esta simbiose é benéfica para sobrevivência das espécies associadas. O nível de dependência abrange micorrizas, rizobactérias promotoras de crescimento e bactérias fixadoras de nitrogênio, de acordo com Döbereiner, J. (1979) Li e Liu (1986) e Ruschel (1979).



FUNDAÇÃO  
MOKITI OKADA - M.O.A.  
Centro de Pesquisa  
Mokiti Okada - CPMO

## 4) Efeito de fatores internos e externos no crescimento da planta

### 4-1 ) Considerações gerais

As raízes são muito diferentes entre as espécies de plantas sofrendo variações em resposta ao ambiente externo e interno da planta. Como o solo é extremamente variável nas características físico-químicas, as raízes têm que apresentar esta capacidade para se adaptar a estas mudanças do solo. Os estudos de localização de adubos mostram muito bem a adaptação das raízes na presença de nutrientes. As mudanças da concentração de hormônios são respostas que as raízes produzem para superar as barreiras físico-químicas impostas pelo solo. Veremos alguns exemplos de resposta das plantas ao ambiente interno e externo.

### 4-2 ) Fornecimento de carboidratos

As plantas fornecem diariamente para as raízes de 25 a 50 % dos produtos fabricados nas folhas para o crescimento e manutenção das raízes. Cerca de 50% dos açúcares enviados para as raízes são usados somente para a respiração e produção de energia (ATP) para poder absorver nutrientes. É este ATP que faz a bomba de nutrientes trabalhar e nutrir a planta. Quando as raízes respiram oxigênio para cada unidade de açúcar usada ela produz 32 unidades de ATP (moléculas de energia). Se as raízes não respirarem oxigênio (sem ar = anaeróbica) esta unidade de açúcar produz apenas 2 unidades de ATP (energia) e não são capazes de mover a bomba de nutrientes e absorver cálcio e outros elementos. No solo duro a água expulsa o ar e a bomba de absorção de nutriente das raízes para por falta de energia (ATP). Assim o solo pode estar rico, mas a planta sofre fome porque a bomba que absorve os nutrientes esta parada por falta de energia (ATP). Qualquer fator que interfira na fotossíntese, como baixa luminosidade e agrotóxicos, afeta mais o crescimento das raízes do que a parte aérea. As plantas micorrizadas e com *Rhizobium* usam de 15 a 50 % do açúcar para alimentar os microorganismos simbiotes. Desta forma, como 93 % das plantas tem micorriza, o custo da manutenção das micorrizas representa pelo menos 15 a 30 % dos açúcares sintetizados pela planta. Como a natureza não perdoa desperdício, deve haver uma razão muito forte para que esta simbiose seja mantida com as plantas. Na Tabela 3 verificaremos que ervilhas crescendo com pouca luz, a presença de *Rhizobium* (Rh) e micorriza (MVA) é prejudicial a planta pela competição pelos açúcares e isto acaba aparecendo no crescimento de caules e raízes. Sendo os *Rhizobium* e micorrizas fundamentais na absorção de nutrientes essenciais, verificamos que qualquer agrotóxico ou manejo que reduza a fotossíntese é prejudicial a plantas ou a seus simbiotes associados. O uso de fungicidas sistêmicos (benomil) mata as micorrizas, prejudicando, portanto, a planta por impedir a absorção de micronutriente zinco e cobre, essenciais no sistema de defesa e crescimento das raízes. A simples aplicação de fungicidas e inseticidas à base de carbamatos (Dithane, Furadan, Carbaryl) aumenta a suscetibilidade da planta aos ácaros e cinza (oídios) devido a mudanças fisiológicas no vegetal que o torna mais nutritivo para pragas e doenças causando perda (transpiração) de nutrientes estimulando os fungos e bactérias do solo a atacarem as raízes.



Tabela 3 Crescimento do caule e raízes de ervilha durante 35 dias com luminosidade alta e baixa em presença e ausência de *Rhizobium* (Rh) e micorriza (MVA).

Simbionte		Luz ( $\mu\text{EM}^{-2}\text{S}^{-1}$ )	Peso seco (mg)		Comprimento de raízes (m planta)
Rh	MVA		Caule	Raiz	
-	-	390	506	306	31,7
-	-	190	248	105	11,3
+	+	390	592	168	17,7
+	+	190	326	73	6,4

Adaptado de Marschner (1995).

### 4-3 ) Morfologia das raízes e hormônios

Na Figura 2 podemos verificar que a resposta imediata das raízes as mudanças do solo são resultantes da produção dos hormônios pelas raízes. A coifa (ponta das raízes) além de atuarem como lubrificante para o crescimento das raízes é como a ponta dos dedos que sente duro, mole, quente e frio, ela é o sensor que detecta a resistência do solo e determina maior ou menor alongamento das raízes. A coifa controla ainda a emissão de sinais para a produção e exsudação de hormônios de crescimento de raízes secundárias, pêlos absorventes, maior ou menor liberação de açúcares e aminoácidos (moléculas de baixo peso molecular) e o crescimento vida do solo. Há, portanto, semelhança das funções da ponta dos dedos com a ponta das raízes. De acordo com o esquema das raízes, a sua ponta é produtora do estímulo da sua resposta ao ambiente externo. Assim se aplicarmos um fungicida sistêmico como benomil (Benlate), fossetil alumínio (Aliete) ou abamectina (Vertimec) mudamos na capacidade de resposta das raízes causando mudanças no fornecimento de açúcar, hormônios e exsudados de raízes aumentando a suscetibilidade a pragas e doenças da parte aérea ou raízes.

### 4-4) Fatores químicos do solo

#### 4-4-1 ) Macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S)

Os estudos sobre a influência dos macronutrientes N, P, K, Ca, Mg, S, Si no crescimento das raízes mostram claramente que eles são elementos essenciais para o crescimento das raízes e do caule. A localização do adubo em diferentes profundidades e quantidades muda a quantidade e superfície total das raízes. Esta resposta é clara para o cálcio, nitrogênio e fósforo, na maioria das plantas. No caso do potássio, a resposta não foi significativa provavelmente devido a extrema solubilidade do elemento e mobilidade no perfil do solo. Na Tabela 4 são apresentadas as respostas a níveis de nitrogênio em milho no campo em relação ao crescimento de caule e raízes. Nas gramíneas as raízes crescem mais nas regiões onde o nitrogênio e fósforo foram aplicados, mostrando a adaptação das raízes às mudanças de fertilidade e a sua sensibilidade às mudanças do



ambiente solo. Se o elemento está uniformemente distribuído no solo o enraizamento é uniforme, se estiver concentrado lateralmente, as raízes laterais vão predominar na profundidade onde o elemento estiver concentrado. O uso de arações, adubos minerais e agrotóxicos, causa a destruição dos agregados do solo e como consequência teremos a formação de pé de grade ou arado. O solo duro, encharcado e com falta de ar interfere no crescimento das raízes que gastam muito mais energia para ultrapassar esta barreira de solo duro e se torna mais suscetível ao ataque de pragas e doenças.

Tabela 4. Efeito do suprimento de nitrato de amônia ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ) no caule e raízes do milho durante 15 semanas de crescimento no campo

Nitrogênio aplicado (kg/ha)	Peso seco por planta (gramas)		Raízes por planta		Peso seco raízes /
	Caule	Grão	Comprimento (m)	Peso seco (g)	Caule
0	186	54	2.189	42	0,23
150	352	138	2.521	38	0,11

Adaptado de Anderson (1988) e Marschner (1995).

#### 4-4-2 ) pH do solo, relação cálcio e total de cátions da solução do solo

Plantas que tem seu centro de origem em solos ricos em cálcio, no geral são muito sensíveis a pH ácidos. É por esta razão que a alfafa, lentilha, grão de bico, melão, ervilha e algodoeiro são plantas que requerem solos neutros ou alcalinos para crescerem adequadamente. Devido a seleção e domesticação, algumas variedades destas plantas são mais tolerantes a solos ácidos, mas sempre crescem melhor em solos neutros ou alcalinos. Plantas intolerantes a solos ácidos, no geral, não suportam alumínio tóxico e por isso tem o alongamento das raízes inibido, o cálcio neste caso protege as raízes do alumínio tóxico. O nível de proteção varia com a espécie e variedade da planta, dependendo da concentração de outros nutrientes (cátions) do solo. Desta forma o nível de cálcio não é constante para controlar toxidez de alumínio do solo, ele é dinâmico variando com o pH do solo. Por exemplo, o algodoeiro no pH 5,6 o nível de cálcio de 1 mM (mili mol) na água do solo (solução do solo) permite o máximo de crescimento das raízes. No pH 4,5 o nível de cálcio exigido é de 50 mM, isto é 50 vezes mais alto, para dar o mesmo efeito. No geral, a relação cálcio dividido pela soma total de cátions da solução do solo deve ser de 0,15 (cálcio / total de cátions = 0,15) para se obter crescimento máximo das raízes. Nos solos tropicais ácidos onde o pH é muito baixo a simples calagem superficial não corrige o problema no subsolo porque o cálcio caminha pouco no solo principalmente na ausência do gesso como veículo transportador do cálcio em profundidade. Não adianta colocar muito cálcio só na superfície do solo, porque o cálcio não é transportado pelos vasos para a ponta das raízes. Este fato nos obriga a aplicar sempre calcário e gesso (na proporção de 3 para 1) simultaneamente para obter mudança de pH no subsolo e assim ter adequada relação cálcio / total de cátions = 0,15. Quando o solo está duro e encharcado e sem ar, a respiração das raízes e microorganismos gera gás etileno (hormônio) que permanece junto às raízes inibindo o seu



crescimento. Todas estas respostas estão associadas a hormônios induzidos pelo receptor junto a coifa das raízes (Figura 3). O papel do cálcio neste sistema ainda não está totalmente esclarecido, mas é um elemento participante do metabolismo radicular.

#### 4-4-3 ) Moléculas de baixo peso molecular (MBPM)

Compostos ou Moléculas de alto peso molecular resultante do húmus como ácido fúlvico, hormônios (IAA) e proteínas, no geral, estimulam o crescimento radicular. Fenômeno oposto ocorre com compostos (moléculas) de baixo peso molecular (MBPM) como álcool, etileno, ácido butírico (cheiro de manteiga rançosa), ácido valérico, ácido acético, ácido málico, ácido oxálico e ácidos graxos de cadeia curta. As MBPM surgem durante a fermentação dos exsudados das raízes e matéria orgânica apodrecendo, em solos encharcados e duros. Quando aplicamos fertilizantes, herbicidas e fungicidas que matam os microrganismos benéficos e plantas invasoras são criadas as condições para a putrefação dos exsudados das raízes, dispersão de argila e perda de agregação de partículas do solo. A consequência deste fato é a formação de pé de grade ou arado que em poucas horas de encharcamento produz as MBPM inibindo o crescimento das raízes. Um exemplo da ação inibidora pelo ácido fenólico é apresentado na Tabela 5 onde a inibição se torna bastante evidente comparada com o controle. Na Tabela 6 são mostrados exemplos de ácidos graxos na inibição das raízes, adaptado de Marschner (1995).

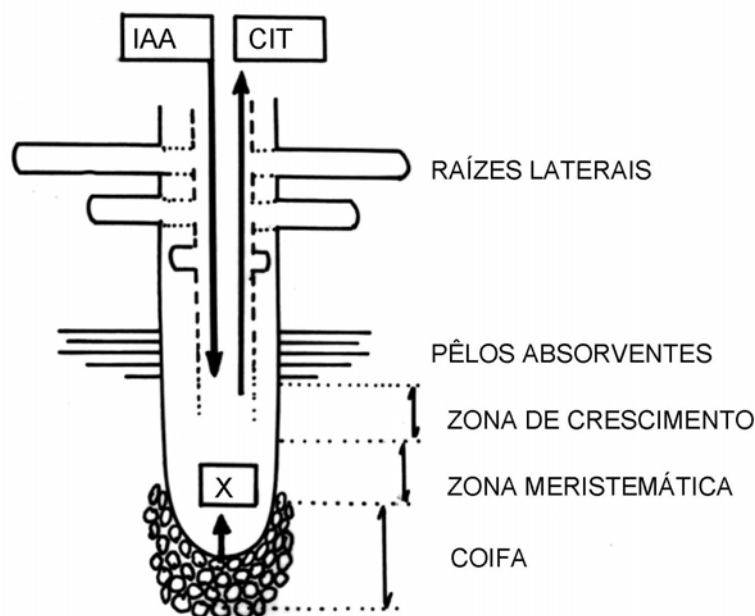


Figura 3. Esquema da ponta das raízes. IAA= ácido indolacético; CIT = citoquininas; X = sensor não identificado possivelmente (ABA).



Os exsudados de raízes abrangem as gomas, mucilagens e MBPM (moléculas de baixo peso molecular) liberadas pelas raízes. São as mucilagens (gomas) que exercem grande influência na fisiologia das raízes e são responsáveis pela agregação das partículas do solo (formação dos grumos do solo) e formação dos macroporos (canais de água e ar). Devido a ação sensorial da ponta das raízes é esta que comanda a quantidade e qualidade dos hormônios produzidos bem como o tipo de exsudado liberado. Quando o solo está compactado passando a densidade de  $1,2 \text{ g cm}^3$  para  $1,6 \text{ g cm}^3$  o alongamento radicular é drasticamente reduzido, mas o consumo de produtos da fotossíntese dobra com mais exsudação de MBPM e a formação de agregados aumenta na periferia das raízes.

Tabela 5. Ação dos ácidos fenólicos no peso fresco de raízes de ervilha crescendo em soluções com níveis distintos de nitrogênio

MBPM (ácidos fenólicos)	Peso fresco (gramas por planta)		% Inibição
	Nitrogênio		Inibição com baixo nitrogênio
	Alto (15 mM)	Baixo (1,5 mM)	
Nenhum (controle)	0,52	0,39	0
Ferúlico	0,56	0,14	64
Vanílico	0,54	0,22	44
p-Cumárico	0,54	0,11	72
p-Hidroxibenzóico	0,54	0,33	15

Adaptado de Marschner (1995).

Os exsudados das raízes mudam sob a ação do ambiente da planta, estado nutricional e quantidade dos nutrientes da superfície das raízes e solo. A dureza do solo e ar existente muda drasticamente os exsudados das raízes e aumenta as prodrídões das raízes na maioria das plantas. Isto ocorre porque o oxigênio no solo diminui 1.000 a 10.000 vezes nos solos encharcados favorecendo as doenças.



FUNDAÇÃO  
MOKITI OKADA - M.O.A.  
Centro de Pesquisa  
Mokiti Okada - CPMO

Tabela 6 Efeito de ácidos graxos voláteis nas raízes de arroz 28 dias após o transplante

Ácido graxo 1 mM (100g) <sup>-1</sup> de solo	Peso seco de raízes em grama por planta	Percentagens de inibição sobre o controle
Nenhum (controle)	1,70	0
Ácido acético (C <sub>2</sub> )	1,40	18
Propiônico (C <sub>3</sub> )	1,00	41
Butírico (C <sub>4</sub> )	0,90	47
Valérico (C <sub>5</sub> )	0,29	83

Adaptado de Marschner (1995).

Os agregados do solo podem conter até 40 % de gomas. A presença das gomas nas raízes é extremamente importante em solos contaminados por metais pesados como chumbo, mercúrio, cobre e cádmio porque eles prendem os metais e impedem a sua absorção pelas raízes. Em solos ácidos com alumínio tóxico, as gomas atuam da mesma forma tirando o alumínio da água do solo e permitindo que as raízes cresçam sem a toxidez do metal. Um ponto crítico da fisiologia das raízes pode ser observado quando as plantas crescem em solos deficientes em nutrientes como fósforo, zinco, ferro e manganês. Nestas condições as plantas mudam os exsudados das raízes e tornam disponíveis os elementos em falta por meio de ácidos orgânicos que retiram (quelatizam) os minerais tornando-os solúveis e disponíveis. Isto já foi demonstrado em várias plantas e na Tabela 7 são apresentados os dados de Marschner (1995) onde várias leguminosas usam ácidos para obter a liberação do fósforo insolúvel do solo.

### 5 ) Microorganismos da rizosfera (área das raízes) não patogênicos

Como vimos anteriormente, 25 a 50 % dos produtos da fotossíntese são transportados e usados nas raízes. A maioria dos produtos acaba no solo pelos exsudados das raízes, gomas, escamação e morte de células dos pêlos absorventes. Este conjunto de matéria orgânica depositado no solo recebe o nome de rizodeposição. Esta matéria orgânica representa a energia que é usada pelos organismos do solo.



FUNDAÇÃO  
MOKITI OKADA - M.O.A.  
Centro de Pesquisa  
Mokiti Okada - CPMO

Tabela 7. Ácidos orgânicos exsudados das raízes crescendo em solo deficiente em fósforo.

Espécies de leguminosas	Exsudatos de raízes frescas avaliadas em mMg <sup>-1</sup> em 24 horas				
	Ácidos orgânicos totais	Malônico	Fumárico	Málico	Cítrico
Soja	2,83	0	1,03	0,78	1,02
Grão de bico	66,54	7,04	6,87	12,67	35,63
Amendoim	47,21	0	24,44	12,84	9,17
Feijão de porco	6,17	0,34	0,73	4,31	0,79

Adaptado de Marschner (1995).

Isto pode ser facilmente demonstrado contando o número de microrganismos no solo e diretamente na superfície das raízes. O número de organismos no solo e superfície das raízes variam na proporção de 1 : 5 a 1 : 50 dependendo da idade, espécie e condições de crescimento do vegetal. Como regra geral de 75 a 80 % do carbono orgânico provem das raízes, a população de microrganismos é limitada principalmente pelo nível de nitrogênio da deposição nas raízes (rizodeposição). As leguminosas e gramíneas que fixam nitrogênio atmosférico tem maior número de microrganismos por exsudarem mais aminoácidos que as não fixadoras. Quando adubamos as plantas com excesso de nitrogênio em cobertura ou fazemos aplicações de agrotóxicos que impedem a síntese de proteínas, os aminoácidos acumulam nas folhas e raízes aumentando a exsudação de aminoácidos e açúcares no solo. Estes exsudados atuam como estímulo químico e induzem a germinação de esporos de fungos que causam doenças como podridões das raízes (*Fusarium*, *Pythium*, *Phytophthora* e *Rhizoctonia*) e murchas de bactérias (*Pseudomonas solanacearum* e *Pseudomonas spp*). O aumento do número de agentes de doenças na superfície das raízes rompe a resistência natural da planta e surge a doença nas raízes da planta. Muitas bactérias benéficas das raízes que fixam nitrogênio do ar de forma associativa e as micorrizas, em presença de excesso de nitrogênio passam a atuar como parasita da planta simbiote (sócia). Com os simbiotes atuando como parasitas há um aumento substancial da exsudação de açúcares e aminoácidos e as raízes se tornam vulneráveis as doenças das raízes e da parte aérea. Como consequência final, aumentamos a suscetibilidade da planta a pragas e doenças e ácaros devido a maior excreção de aminoácidos e açúcares livres. Se ligarmos os fatos acima com os efeitos colaterais da aplicação de agrotóxicos (inseticidas, fungicidas, acaricidas, nematicidas) e adubos químicos verificamos que os efeitos colaterais resultam no acúmulo de aminoácidos e açúcares livres nas folhas e extremidades das raízes. Com isto fica evidente que a ocorrência de doenças e insetos pragas nas culturas nada mais é que o resultado do desequilíbrio nutricional da planta causando maior exsudados das raízes e foliares. Na Figura 4 apresentamos o esquema dos processos biológicos e bioquímicos que levam aos desvios metabólicos e à suscetibilidade a pragas e doenças.

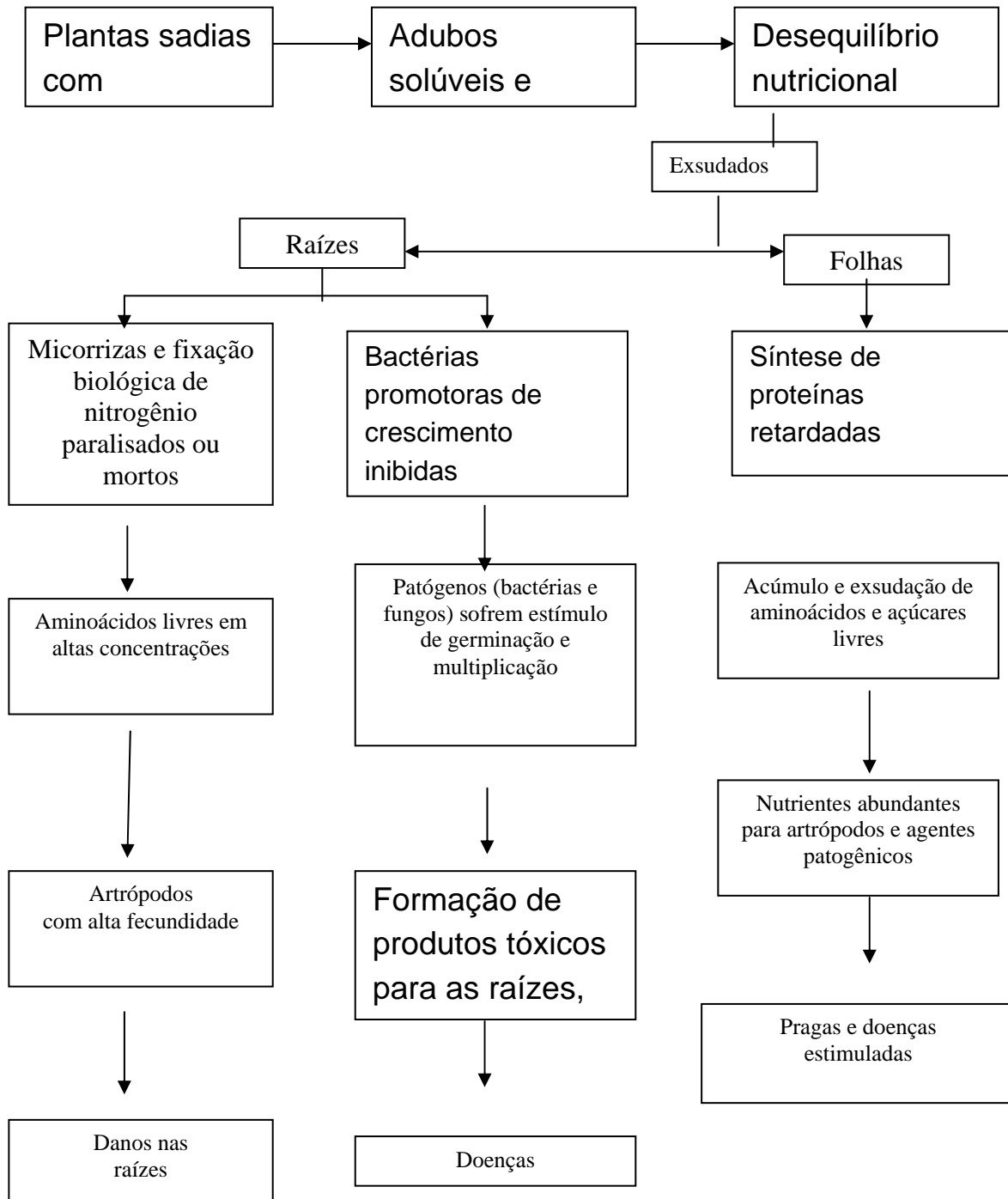


Figura 4. Processos biológicos e bioquímicos que levam aos desvios metabólicos e ataque de insetos e ácaros (artrópodos) e doenças.



FUNDAÇÃO  
MOKITI OKADA - M.O.A.  
Centro de Pesquisa  
Mokiti Okada - CPMO

## 6) Conceitos finais

O uso de adubos químicos solúveis, agrotóxicos (herbicidas, inseticidas, fungicidas, nematicidas, bactericidas) e preparo do solo com equipamentos pesados estão degradando o ambiente solo. As derivas de agrotóxicos (herbicidas) por quilômetros de distancia submetem as plantas a sub-doses 100 a 1000 vezes menores que as recomendadas para as culturas. Estas sub-doses não produzem sintomas de toxidez nas plantas acidentalmente atingidas, mas causam o bloqueio de sistema de defesa. Os herbicidas hormonais em particular o glifosato bloqueia a síntese de fitoalexinas (substâncias de defesa) nas plantas e por isso transforma as plantas cultivadas e invasoras daninhas de altamente resistentes a suscetíveis a podridões de raízes por *Fusarium*, *Pythium*, *Rhizoctonia* *Phytophthora*. As plantas cultivadas com doses de 0,1 a 0,001 das doses recomendadas podem não mostrar sintomas de toxicidade, mas tem a síntese de fitoalexina bloqueada total ou parcialmente e por isso são atacadas por agentes de doenças. Portanto, o aumento de doenças bacterianas, fúngicas, nematoides e ataque de insetos e ácaros podem ser ocasionados pelos agrotóxicos em subdose.

Recentemente, os surtos de Cancro Cítrico (*Xanthomonas axonopodis*) nos pomares na região norte do Estado de S. Paulo estão associados aos pomares com ataque da Clorose Variegada dos Citros (*Xyllela fastidiosa*). Para controlar a cigarrinha que transmite esta última doença empregou-se o herbicida glifosato na vegetação das áreas periféricas dos pomares cítricos. A deriva dos produtos pode ter causado bloqueio do sistema de defesa da planta causando a explosão do Cancro Cítrico na região. Este é um exemplo típico de medida de controle com visão parcial e unilateral do problema. Os resultados tem sido desastrosos, pois a própria Clorose Variegada dos Citros (*Xyllela fastidiosa*) é um reflexo do aumento de suscetibilidade da planta pelo uso exagerado e inadequado de agrotóxicos. Com o abandono dos agrotóxicos convencionais e retorno do uso de Calda Sufocálcica e Calda Bordaleza a *Xyllela fastidiosa* está deixando de ser problema em muitos pomares cítricos. O equilíbrio microbiológico gerado em pomares abandonados nos quais os sintomas do Amarelinho (*Xyllela fastidiosa*) desapareceram é uma outra prova de que muitas doenças iatrogênicas (geradas pelos agrotóxicos) estão se agravando pelo uso inadequado nas culturas. Há, portanto, necessidade dos professores, técnicos e produtores de adotarem uma visão mais holística das causas e controle de pragas e doenças antes de simplificarem o problema recomendando aplicação de agrotóxicos sem os devidos cuidados, pois muitas vezes ao invés de curar a planta acabam gerando novas doenças e pragas. É de suma importância ao recomendar o uso de agrotóxicos, fertilizantes e corretivos pensar no ecossistema como um todo, incluindo o homem, o trabalhador rural, a saúde dos consumidores e pensar na responsabilidade nossa de deixarmos o solo sadio para os nossos descendentes.

**1- O Solo é a pele viva da terra. Ela conecta o mundo acima e abaixo da terra, mantendo o delicado balanço entre os seres vivos. Ele sustenta a vida no planeta. Assim preservando o solo mantemos a nossa vida e o planeta terra.**

**2- “O Fazendeiro é Dono do Título da Propriedade, Mas em Realidade ele Pertence a Todas as Pessoas, Porque a Civilização na Sua Totalidade Sobrevive do Solo”**  
(Thomas Jefferson)



FUNDAÇÃO  
MOKITI OKADA - M.O.A.  
Centro de Pesquisa  
Mokiti Okada - CPMO

## Bibliografia consultada

- Aber, J. D., Mellilo, J.M. Nadelhoffer, K.J., McLaugherty and Pastor, J. (1985). Fine root turnover in forest ecosystems in relation to quantity and form of nitrogen availability: a comparison of two methods. *Oecologia* 66, 317-321.
- Bowen, G.D. and Rovira, A. D. (1991). The rizosphere, the hidden half of the hidden half. In "Plant Roots: the Hidden Half". Ed. Y. Waisel, A. Eshel et al, pp. 641-669. Marcel Dekker, New York.
- Cakmak, I. and Maschner, H. (1990). Decrease in nitrate uptake and increase in proton release in zinc deficient cotton, sunflower and buckwheat plants. *Plant Soil* 120, 261-268.
- Creamer, M. D., Levis, O.A.M. and Lips, S.H. (1993). Inorganic carbon fixation and metabolism in maize roots as affected by nitrate and ammonium nutrition. *Physiol. Plant.* 89, 632-639.
- Döbereiner, J. (1979). Nitrogen – fixing bacteria in the rhizosphere, p. 86-120. In: Associative N<sub>2</sub> fixation. Ed. P. B. Vose and A. P. Ruschel. CRC Press Inc. Boca Raton, Florida, 215 p.
- Harper, S. H. T. and Lynch, J. M. (1982). The role of water-soluble components in phytotoxicity from decomposing straw. *Plant Soil* 65, 11-17.
- Hoffland, E., Findenegg, G. R. and Neleman, J. A. (1989). Solubilization of rock phosphate by rape. II. Local root exudation of organic acids as a response to P- starvation. *Plant Soil* 113, 161-165.
- Horst, W. J., Klotz, F. and Szulkiewicz, P. (1990). Mechanical impedance increases aluminium tolerance of soybean (*Glycine max*) root. *Plant Soil* 124, 227-231.
- Howard, D. D. and Adans, R. (1965). Calcium requirement for penetration of subsoil by primary cotton roots. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 29, 558-562.
- Jackson, P.C. and St. John, J.B. (1980). Changes in membrane lipids of root associated with changes in permeability. Effect of undissociated organic acids. *Plant Physiol.* 66, 801-804.
- Johal and Rahe (1984). Effect of soilborne plant-pathogenic fungi on the herbicidal action of glyphosate on bean seedlings. *Phytopathology*, 74, 950-955.
- Kraffezyk, I., Trolldenier, G. and Beringer, H. (1984). Soluble root exudates of maize: influence of potassium supply and rhizosphere microorganisms. *Soil Biol. Biochem.* 16, 315-322.
- Lambers, H., van der Wert, A. and Konings, H. (1991). Respiratory patterns in roots in relation to their functioning. In: "Plants Roots, the Hidden Half", Ed. Y. Waisel, A. Eshel and U. Kafkafi. Pp. 229-263.
- Lynch, J. M. and Wipps, J.M. (1990). Substrate flow in rhizosphere. *Plant Soil* 129, 1-10.
- Marschner, H. (1995). *Mineral Nutrition of Higher Plants*, Second Ed. Copyright (1995). Academic Press. San Diego, Ca.
- Morel, J. L., Memch, M. and Guckert, A. (1986). Measurement of Pb<sup>2+</sup>, Cu<sup>2+</sup> and Cd<sup>2+</sup> binding with mucilage exudates from maize (*Zea mays* L.) roots. *Biol. Fertil. Soil* 2, 29-34.



FUNDAÇÃO  
MOKITI OKADA - M.O.A.  
Centro de Pesquisa  
Mokiti Okada - CPMO

- Panisi, A. R. e Parra, J. R. P. (1991). Ed. "Ecologia Nutricional de Insetos e Suas Implicações no Manejo de Pragas". Manole Ltda. S. Paulo SP, Br.359 p.
- Römheld, V. (1987). Existence of two different strategies for the acquisition of iron in higher plants. In: Iron Transport in Microbes, Plants and Animals'. Ed. G. Winkelmann, D. van der Helm and J. B. Neilands, pp. 353- 374, VCH Verlag Weinheim, FRG.
- Römheld, V. (1998). A interface solo-raíz (rizosfera) e relações com a disponibilidade de nutrientes, a nutrição e as doenças de plantas. Workshop Potafos, ESALQ e CEA, 17-18 março de 1998. Piracicaba, SP.
- Rovira, A. D., Bowen, G. D. and Foster, R. C. (1983). The significance of rhizosphere microflora and mycorrizas in plant nutrition. In: "Encyclopedia of Plant Physiology, New Series". Ed.: A. Läuchli and R. L. Bielecki. Vol. 15<sup>a</sup>, pp. 61-89. Springer- Verlag, Berlin.
- Ruschel, A. P. (1976). Fixação biológica de nitrogênio em cana de açúcar. Tese de Doutorado, ESALQ-USP, Piracicaba, 75 p.
- Schönwitz, R. and Ziegler, H. (1982). Exudation of water-soluble vitamins and of some carbohydrates by intact roots in maize seedlings (*Zea mays* L.) into a mineral nutrient solution. Z. Pflanzenphysiol. 107, 7-14.
- Tadano, T. and Sakai, H. (1991) Secretion of acid phosphatase by roots of several crop species under phosphorus-deficient conditions. Soil Sci. Plant Nutr. (Tokyo) 37, 129- 140.
- Tokeshi, H. (1991). Manejo da microflora epífita no controle de plantas. In: Anais IV Reunião Brasileira Sobre Controle Biológico de Doenças de Plantas, pp. 32-62. EMBRAPA, Campinas SP, 8 a 10 de outubro de 1991.
- Uren, N. C. and Reisenauer, H. M. (1988). In: "The role of root exudation in nutrient acquisition", Advances Plant Nutrition. Ed. B. Tinker and A. Läuchli. Vol. 3, pp. 79-114. Praeger, New York.