

# VARIABILIDADE E VARIAÇÃO ARQUITETURAL DO SISTEMA RADICULAR DA SOJA SOB A INFLUÊNCIA DE FÓSFORO NO SOLO

DOURADO NETO, D<sup>1,6</sup>; TEIXEIRA, E.F.<sup>2</sup>; MANFRON, P.A.<sup>3</sup>; PILAU, F.G.<sup>4</sup>; BONNECARRÈRE, R.A.G.<sup>2</sup>; ROMANO, M.R.<sup>4</sup>; FRIZZONE, J.A.<sup>5,6</sup>

**RESUMO:** A arquitetura radicular não é uma relação bidimensional entre frações aparentes (ramificações) de sistemas radiculares. O conceito de arquitetura radicular não deve estar desconectado da idéia do contínuo. Ainda hoje o conhecimento adquirido sobre a arquitetura radicular em seu complexo desenvolvimento é pequeno. Por isso, a integridade da arquitetura radicular está em integrar novas concepções sobre sistemas e padrões virtuais de memória. Isso apóia a analogia sobre o comportamento arquitetural, embora a partir de uma análise incompleta do sistema radicular, podendo-se concluir informações a respeito da variabilidade e da variação arquitetural do sistema radicular da soja (*Glycine max* (L.) Merril), sob a influência do fósforo no solo. Nele, a forma vislumbrada é uma contingência da dimensão fractal, alcançada num processo cognitivo dinâmico.

**Palavras-chave:** *Glycine max*, raiz, fósforo, fractais.

## ARCHITECTURAL VARIABILITY AND VARIATION OF SOYBEAN ROOT SYSTEM UNDER INFLUENCE OF PHOSPHORUS IN THE SOIL

**ABSTRACT:** The root architecture is not a bi-dimensional relation between apparent fractions. So, the root architecture concept does not have to be disconnected to the *continuum* idea. Today, yet, the knowledge about root architecture in its complex development is still little. Therefore, the entire root architecture adopts new concepts about systems and virtual memory patterns. This give us the basis to support the analogy about the architectural behavior from an incomplete analysis of the root systems. Thus, information about variability and variation in soybean root system could be inferred (*Glycine max* (L.) Merril) under influence of phosphorus in the soil, where the abstracted shape is a contingency of the fractal dimension reached under a dynamic cognitive process.

**Key-words:** *Glycine max*, root, phosphorus, fractals.

<sup>1</sup> Professor do Departamento de Produção Vegetal da ESALQ/USP. Av. Pádua Dias, 11, Caixa Postal 9. CEP: 13418-900. E-mail: dourado@esalq.usp.br

<sup>2</sup> Doutorando do Programa de Pós-graduação em Fitotecnia da ESALQ/USP

<sup>3</sup> Professor Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria (RS)

<sup>4</sup> Doutorando do Programa de Pós-graduação em Física do Ambiente Agrícola da ESALQ/USP

<sup>5</sup> Professor do Departamento de Engenharia Rural da ESALQ/USP

<sup>6</sup> Pesquisador CNPq.

Recebido pela Comissão Editorial em: 16.07.03

Aprovado pela Comissão Editorial em: 12.05.04

## INTRODUÇÃO

Conhecer o desenvolvimento das raízes das plantas, sua posição, sua extensão e sua atividade na absorção de água e solutos em diversos estádios de crescimento, é de importância fundamental para o entendimento científico da produção vegetal (Weaver et al., 1922; Pearson, 1974).

Entretanto, o progresso nessas pesquisas ainda está muito atrás do obtido em outras áreas do conhecimento sobre produção vegetal, principalmente pela dificuldade de acesso ao sistema radicular das plantas.

Durante o crescimento vegetativo da planta, o sistema radicular se expande vertical e lateralmente,

podendo ocupar um volume de solo maior que as dimensões da parte aérea, onde raízes finas podem representar mais que 50% da massa total de raízes, apresentando alta taxa de renovação (Mc Claugher et al., 1982).

A importância da arquitetura radicular na produtividade da planta reside no fato de que os recursos do solo estão distribuídos sem uniformidade e sujeitos à depleção localizada; então, por meio da configuração espacial do sistema radicular, procura-se explicar o comportamento da planta na exploração desses recursos.

A aplicação do fertilizante fosfatado a uma menor fração de um dado volume de solo tem a vantagem de proteger o fósforo (P) contra as reações de adsorção, reduzindo o contato solo-nutriente. Com isso, na fração de solo fertilizada, há um grande aumento na disponibilidade do nutriente, enquanto, na fração que não recebeu o adubo, a disponibilidade permanecerá inalterada, já que o P é praticamente imóvel no solo (Bray, 1954). Para uma mesma dose de P, quanto menor a fração de volume de solo fertilizada, maior será a dose relativa e, portanto, maior a disponibilidade esperada do P nessa região (Yao & Barber, 1986).

A localização do P, porém, diminui o volume de solo fertilizado à disposição do sistema radicular, podendo, em parte, ser compensada pelo maior desenvolvimento de raízes nessa região - aumentando assim a área radicular exposta a P - e, também, pelo aumento na taxa de absorção das raízes supridas com o nutriente.

O fornecimento de P a uma fração do sistema radicular de milho proporcionou maior influxo máximo de fosfato e maior taxa de crescimento radicular na solução nutritiva contendo P (Castilhos & Anghinoni, 1988). Do mesmo modo, a aplicação da mesma quantidade de P, em frações decrescentes do volume de solo, pode estimular o crescimento radicular na parte de solo fertilizada com esse nutriente, principalmente de raízes finas. Esse estímulo constatado em culturas como o milho

(Anghinoni & Barber, 1980), soja (Borkert & Barber, 1985), trigo (Yao & Barber, 1986) e tomate (Fontes, 1987), provoca incremento na área radicular exposta a P. Assim, à medida que o volume de solo fertilizado com P decresce, ocorre uma relativa compensação em incremento de área radicular (Fontes, 1987).

Nielsen & Gahoonia (1998) mediante experimento utilizando  $^{32}\text{P}$ , evidenciaram participação direta dos pêlos radiculares na aquisição do P, quantificando uma proporção de 70% de pêlos radiculares crescendo em solo marcado, responsáveis por 63% do total de P adquirido, evidenciando a importância da manutenção dessas menores estruturas em escala radicular, para que mantenham a sua substancial participação na aquisição de P do solo. Esse grau de plasticidade foi particularmente notado em plantas desenvolvendo-se em solos com baixa disponibilidade de fósforo. Estes resultados mostram que a rápida plasticidade fisiológica de raízes em pontuações mais férteis de volume explorado do solo tem importantes implicações para a teorização e para a modelagem da aquisição de nutrientes.

O trabalho realizado objetivou aprimorar a constituição conceitual, para que se desenvolva uma metodologia de apreensão e de domínio de informações, para a caracterização arquitetural do sistema radicular da soja sob a influência de fósforo no solo, em termos de variabilidade e de variação.

## MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado na Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP, Piracicaba/SP, no ano de 2000, utilizando-se sementes de soja para a semeadura em germinador e casa de vegetação. Para a adubação em área total individual de 1,5 m<sup>2</sup>, utilizaram-se 225 g de sulfato de amônio, 150 g de cloreto de potássio e 670 g de super fosfato simples, correspondentes a 30 g de N, 60 g

de K<sub>2</sub>O e 80 g de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> por m<sup>2</sup>.

Executou-se, ainda, um ensaio acerca de respostas compensatórias do sistema radicular sob fertilidade controlada, quando se desenvolveram, primeiramente, quadros com três folhas de papel absorvente (papel germinador) capazes de acondicionar uma planta em desenvolvimento, e, em seguida, saquinhos de papel absorvente com formato quadrado ou com o formato de faixa. Em seu interior, foi colocada uma porção de areia (10 g) misturada à adubação de semeadura (NPK), em proporção exata de massas, para obter concentrações duas vezes a adubação de semeadura.

Dispostos na área do quadro, atrás de uma dupla camada de folhas de papel, esses saquinhos representavam eutrofismo pontual e em faixa, sendo formado um gradiente de concentração em torno dos saquinhos, pelo equilíbrio entre a solução do saquinho e a umidade do papel germinador.

Realizou-se semeadura em casa de vegetação, em canteiros com o mesmo solo e sob duas condições: adubação de semeadura e adubação de semeadura com acréscimo de duas vezes a dose de fósforo utilizada. Paralelamente, para a visualização do desenvolvimento radicular em locais de baixa fertilidade e com eutrofismo localizado, realizou-se o ensaio em germinador, procurando detectar variações no comportamento radicular, a fim de se visualizarem respostas compensatórias ao desenvolvimento das raízes nessas condições.

As coletas foram feitas com a escavação manual do solo, procurando-se observar, atentamente, a disposição espacial da arquitetura do sistema radicular, tomando-se todo o cuidado para extraí-lo, o mais intacto possível, numa ação impossível de não ser defectiva.

Foram analisados, visualmente, fotos e desenhos esquemáticos de sistemas radiculares das plantas de soja coletadas, além de fotos de porções de raízes de plantas pertinentes às considerações elaboradas.

Utilizou-se a técnica da infografia para auxiliar o estabelecimento de raciocínio sobre as relações de causa e efeito na complexa estrutura radicular.

Através de metodologia do mapa radicular, desenvolvida pelo autor e por colaboradores, obteve-se a configuração da aproximação bidimensional (cartesiana) de porções de ramificações radiculares, no sentido de "caminhamento" parte aérea - raízes (Teixeira et al., 1997). O resultado lógico de tal procedimento é um método somatório simples, proposto para demonstrar a dessimetria espaço-temporal na composição arquitetural de sistemas radiculares, idealizando-se suas diferentes estratégias de rastreamento do meio físico.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A fotografia das características arquiteturais de uma raiz, como meio de interpretar o seu "caminhamento", é uma metodologia que facilita muito essa interpretação. O Quadro 1, denominado mapa radicular, demonstra um sistema radicular da soja, em posicionamento relativo ao estado de desenvolvimento espaço-temporal. Foram escavados sistemas radiculares em coletas de três em três dias, marcando o intervalo de três dias até quarenta e cinco dias após a emergência da soja.

Através de uma descrição completa e modulada dos eixos radiculares, podendo-se expandir utopicamente à n-ésima ordem, o mapa descritivo do sistema radicular, produzido com os dados coletados durante o "caminhamento" pela arquitetura, aproximada a duas dimensões de uma raiz, fornece subsídio para inferências, permitindo a obtenção de dados pertinentes ao constituinte de ramificações "sobreviventes" à escavação. Permite, também, o estabelecimento prático do conceito de memória cognitiva num comportamento arquitetural para considerações sobre a "dessimetria espaço-temporal" e o conceito de "interpretação cognitiva"

dos vegetais no estabelecimento da "forma arquitetural".

A Tabela 1 e a Figura 1 são extensões do estudo de mapas radiculares, visando-se a compreender alguns

detalhes, como o rastreamento constante do espaço de domínio do sistema radicular durante o seu comportamento arquitetural.

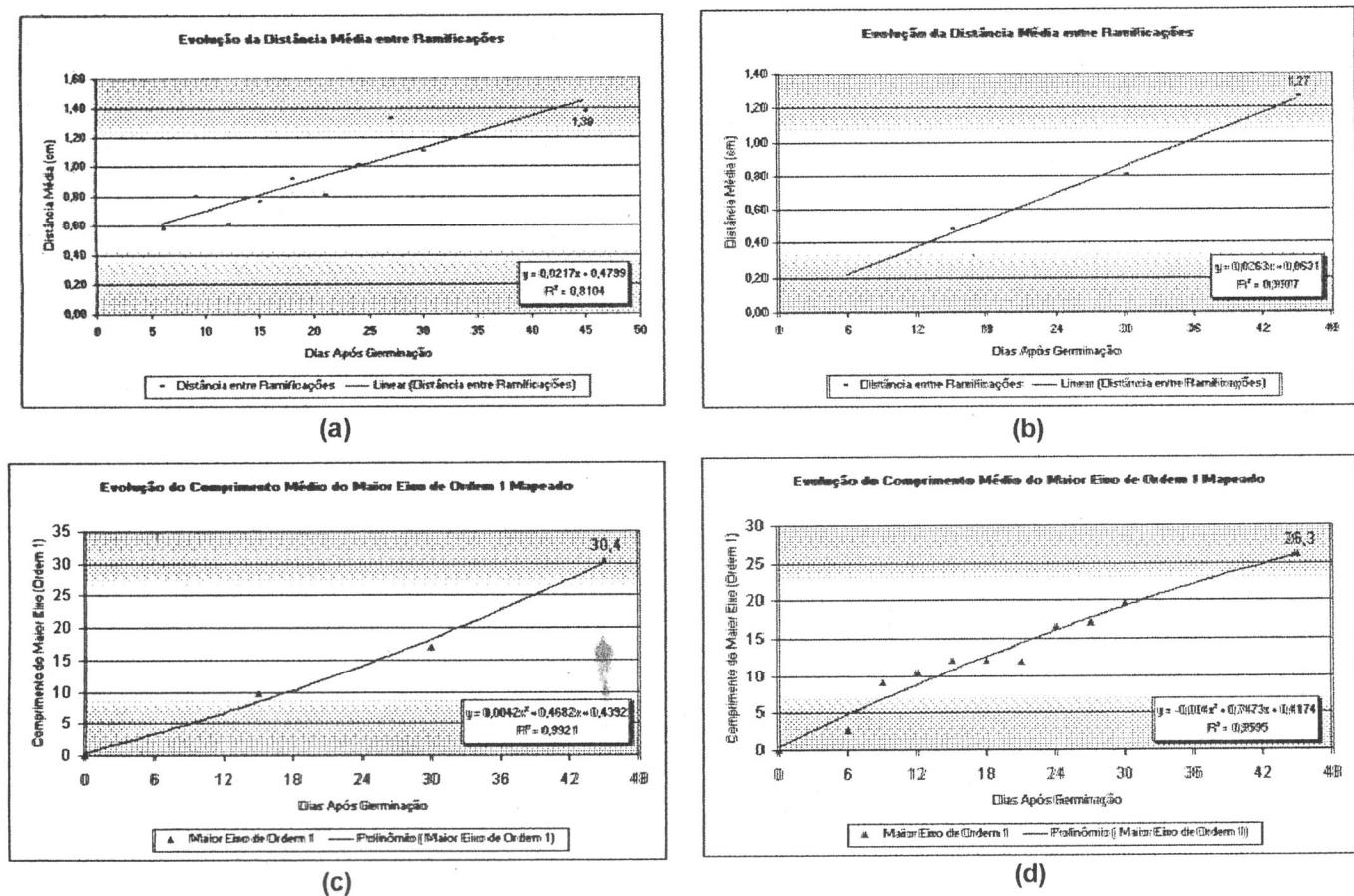
**Quadro 1** - Mapa descritivo do sistema radicular (uma aproximação estática da arquitetura radicular).

SISTEMA RADICULAR MAPA DESCRIPTIVO									
Denominação:		IAC 17, Canteiro E, Repetição 1 Casa-de-Vegetação / Solo argiloso / Sem Compactação 45 dias após a germinação							
Ordem	Orientação	Deflexão			a	"x"	cm	Comp. Total	
1.ária	0 °	°	a	cm	°	a	cm	15	cm
1	-60 ° a 1 cm	30	° a	2,2	cm	23,3	cm		
		-25	° a	10	cm				
		-30	° a	17,7	cm				
2	65 ° a 1 cm	-35	° a	11,1	cm	15,5	cm		
		°	a	cm					
		°	a	cm					
3	65 ° a 1,7 cm	-35	° a	1	cm	14,5	cm		
		35	° a	5,5	cm				
		-35	° a	12,2	cm				
4	-60 ° a 2,2 cm	-50	° a	4,4	cm	12,2	cm		
		°	a	cm					
		°	a	cm					
5	50 ° a 2,2 cm	-40	° a	5,5	cm	22,2	cm		
		°	a	cm					
		°	a	cm					
6	50 ° a 3,3 cm	-40	° a	5,5	cm	10	cm		
		°	a	cm					
		°	a	cm					
7	-40 ° a 3,3 cm	°	a	cm	17,8	cm			
		°	a	cm					
		°	a	cm					
8	40 ° a 5 cm	-40	° a	2,2	cm	7,8	cm		
		°	a	cm					
		°	a	cm					
9	-40 ° a 6,1 cm	50	° a	5,5	cm	13,3	cm		
		-40	° a	7,8	cm				
		°	a	cm					

**Tabela 1** - Distância entre ramificações (Dr, cm), gradiente de distribuição de eixos por quadrante (Gq), comprimento médio do eixo de ordem 0 (C0, cm) e de ordem 1 (C1, cm) de plantas de soja em diferentes épocas de desenvolvimento, em solo com fertilidade homogênea.

Época	Dias após a semeadura (DAS)									
	6	9	12	15	18	21	24	27	30	45
Dr	0,57	0,80	0,61	0,76	0,92	0,81	1,02	1,33	1,11	1,38
Gq <sup>1</sup>	-	0	-1	2	-2	2	1	-1	1	-3
C0	4,01	12,64	12,40	11,32	13,72	11,05	15,35	16,92	15,73	16,75
C1	2,60	9,10	10,41	12,12	12,03	11,80	16,50	17,02	19,63	26,25

<sup>1</sup> Gq: média geral referente ao período de 9 a 45 DAS:1



**Figura 1 -** Evolução da distância média entre ramificações de raízes de soja em: (a) ambiente com pouco P; e (b) mesmo ambiente com mais P. Evolução do comprimento médio do maior eixo de ordem 1, mapeado num ambiente com (c) pouco P e (d) mais P.

A técnica de semeadura da soja em germinadores mostrou-se eficaz para observações relativas ao desenvolvimento da raiz, sob condição de ausência de impedimentos físicos e de água disponível em suficiência. Notam-se rápido desenvolvimento do eixo primário da raiz; desenvolvimento simétrico dos eixos secundários; dispersão homogênea dos eixos secundários por toda a raiz primária; raízes secundárias mais desenvolvidas localizadas nos primeiros centímetros do eixo primário e raízes alongadas em menor tempo.

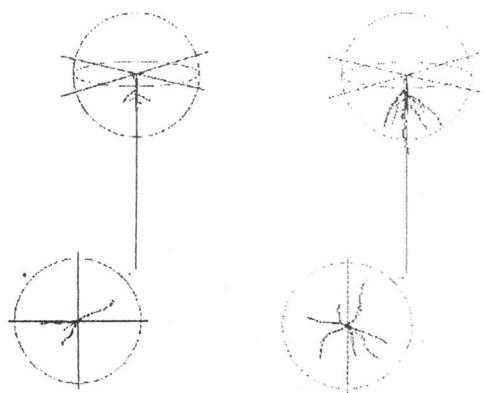
Entenda-se o processo de conhecimento do sistema radicular durante seu comportamento como a interdependência simultânea de duas características intrínsecas ao fenômeno arquitetural: a memória genética e a memória cognitiva.

Numa primeira aproximação, partindo-se de eixos radiculares que tenham iniciado seu desenvolvimento (Ra) e que possuam, em função desse estado vegetativo, apenas os pêlos absorventes (PAb), está-se, então, diante da complexidade básica de uma estrutura radicular (PAb), um “todo” inicial, característico da memória genética dos vegetais superiores. Compreende-se que a memória genética é a responsável pela produção dos materiais estruturais do sistema radicular, que efetivamente têm, em seu acúmulo nos eixos radiculares, o papel de garantia estrutural, no tempo e no espaço.

Está-se diante da memória capaz de deixar registros (fruto da interação cognitiva) da forma arquitetural na estrutura radicular dissecada do solo, pois os detalhes mais discretos não são facilmente recuperáveis (Figura

2), e, mesmo que metafisicamente o fossem, não haveria sentido para a expressão máxima da arquitetura radicular, a partir de sua complexidade básica, ou seja, sua forma atuante em última escala.

A geometria fractal foi estudada e categorizada entre as décadas de 60 e 70 por Benoit Mandelbrot, que estudou a geometria de uma ampla variedade de fenômenos naturais irregulares. Na década de 60, ele compreendeu que todas essas formas geométricas tinham algumas características comuns bastante notáveis. A principal propriedade da geometria fractal é a característica de auto-similaridade.



**Figura 2** - Seqüência de diagramas representativos da disposição espacial tridimensional de raízes de soja e sua alteração durante o desenvolvimento. Os símbolos + e – são convenção para a obtenção da idéia sobre um rastreamento diferencial do solo.

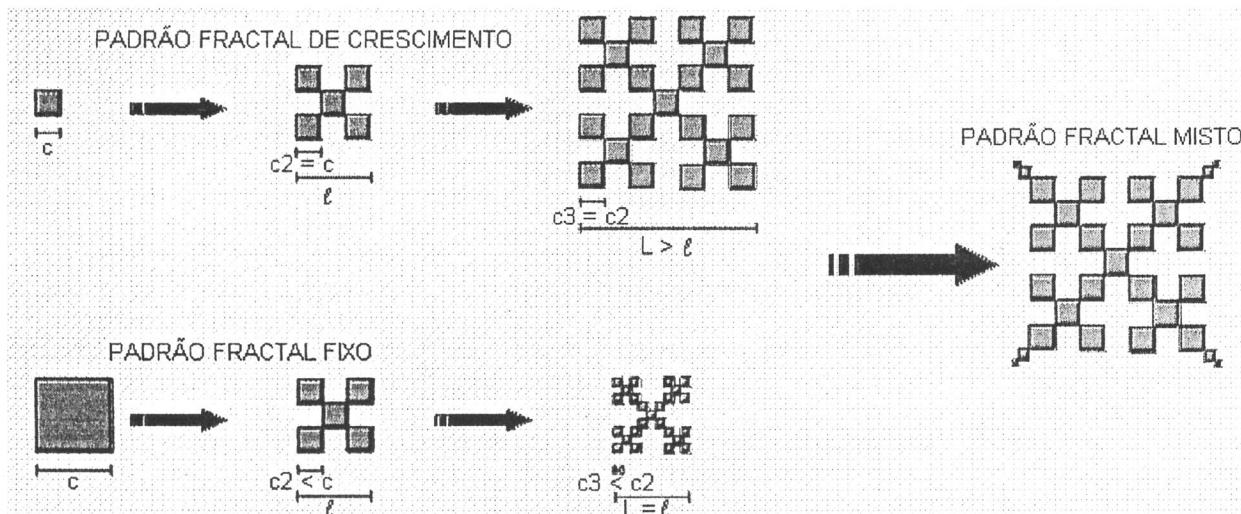
O mesmo ocorre com o sistema radicular, cujo comportamento obedece a uma dessimetria espaço-temporal contínua, em concordância com uma desproporcionalidade desencadeada pela pressão sensorial sobre suas duas memórias.

Benoit Mandelbrot exemplifica tal fenômeno, no nível dimensional, argumentando que, se tomarmos "um

ovelho com dez centímetros de diâmetro, feito com um fio com um milímetro de diâmetro, ele terá dimensões efetivas distintas. Usando-se um grau de resolução de dez metros, tratar-se-á de um ponto, e, portanto, de uma figura de dimensão zero. Para um grau de resolução de dez centímetros, tratar-se-á de uma bola tridimensional. Para uma pormenorização de dez milímetros, será um conjunto de fios e, portanto, uma figura unidimensional. Para um grau de pormenorização (resolução) de um décimo de milímetro, cada fio transforma-se numa espécie de coluna, e o todo volta a ser tridimensional. Para um grau de resolução de um centésimo de milímetro, cada coluna resolve-se em fibras filiformes e, novamente, o todo será unidimensional. Em uma análise mais cuidadosa, o ovelho de lã é representado por um número finito de átomos pontuais e o todo terá, mais uma vez, dimensão zero. E assim por diante, o valor da dimensão não pára de variar. (Pimenta, 1999).

Sendo assim, a nova matemática da complexidade é essencialmente uma matemática de padrões visuais (Capra, 1996). Os fractais forjam esses padrões por um simples processo iterativo, ou seja, pela repetição incessante de uma certa operação geométrica. O processo iterativo produz duas espécies fractais básicas: a fractal de crescimento (aumento da 'substância', sem alteração do seu nível de complexidade) e a fractal fixa (há constância da 'substância', porém há aumento do seu nível de complexidade). Também se podem forjar iterações mistas (Figura 3).

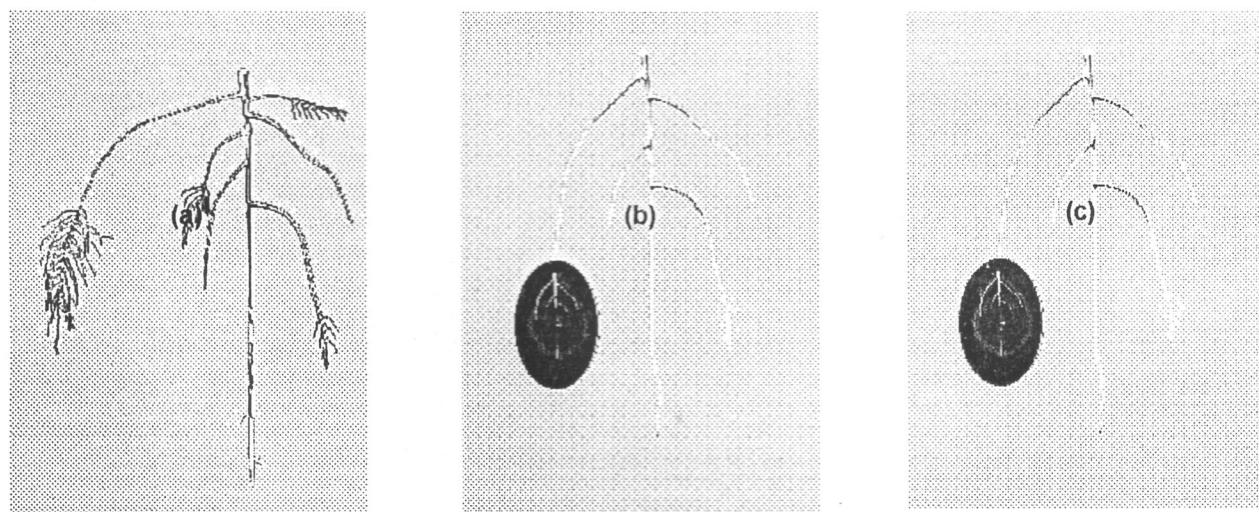
Ao contrário do que imaginamos, os estados de assimetria e dessimetria representam um padrão *continuum*, enquanto a simetria é a própria descontinuidade, ponto focal, momento de sintonia fina daquele estado. Assimetria e dessimetria são essencialmente equilíbrio e estão em permanente dinâmica.



**Figura 3 -** Diagrama de 'pastilhas', elucidativo dos padrões de desdobramento fractal, onde 'c' representa a evolução do nível de complexidade para cada padrão, a partir de um pormenor, e 'l'e 'L' representam a variação da 'substância' final.

A forma do todo é semelhante a si mesma, em todos os níveis de escala que compõem sua integridade complexa. A simetria é estática, discreta e extremamente frágil. Acrescentando-se qualquer elemento a um sistema assimétrico, ele continuará em equilíbrio. Modificando-

se um mínimo detalhe fora do eixo de um campo simétrico, ele entrará imediatamente em "turbulência", ou seja, em dessimetria sob a ótica do *continuum*, e em assimetria, sob a ótica estática (Figura 4).



**Figura 4 -** Fotografia representativa (A) da evolução da arquitetura radicular sob 'pressão sensorial' diferencial, no tempo e no espaço em domínio; (B) do desdobramento fractal natural, comportamento típico do processo cognitivo de um sistema radicular durante o rastreamento do solo em domínio e (C) do processo de pormenorização num comportamento fractal natural.

A nova paleta transensorial permite o aparecimento de toda uma gama de novos 'efeitos', nos quais a variação e a variabilidade de formas arquiteturais íntegras, sob esse raciocínio da física contemporânea, passaram a ser destrinchadas logicamente, por se tratar de questões impossíveis para o antigo modelo "visual", o qual, dada sua própria natureza, produz o efeito da linearidade no *continuum* (ilusão de escala) (Pimenta, 1999).

Não se podem compreender a integridade estrutural de um sistema radicular e a sua dinâmica de comportamento no solo, por meio de inferências reducionistas: falar da arquitetura radicular de um sistema radicular desenterrado é o mesmo que exemplificar a dinâmica do conhecimento num cérebro fora de uma cabeça.

Percebe-se que uma raiz se alonga para rastrear o P, desdobrando-se em função dos nutrientes de alta mobilidade, estruturando, cognitivamente, mais fenômenos localizados, quanto maior for o potencial hídrico do solo.

Por essa definição, o fósforo, como integrante do sistema solo-planta não tem a capacidade de alterar a arquitetura radicular num aspecto "localizado", já que é diretamente absorvido por pêlos radiculares (complexidade estrutural básica). Conclui-se, então, que a sua capacidade de manutenção do comportamento arquitetural "atual" como um todo, dentro do processo de incorporação da forma, indiscutivelmente inseparável do solo, e sua interação químico-mecânica (dependente da memória cognitiva), ocorrem por um maior período de tempo, quando, com regime hídrico abundante, se pode presenciar pormenorizações duradouras.

Portanto o P em distribuição homogênea produz uma aceleração no processo contínuo de rastreamento do espaço tridimensional, corporificado pelo sistema radicular, enquanto a sua memória cognitiva estabiliza o padrão fractal de crescimento, durante a manifestação

de sua arquitetura, desacelerando sua dessimetria espaço-temporal.

O excesso de elementos em distribuição homogênea poderá acelerar a dessimetria espaço-temporal, enquanto a sua memória cognitiva estabiliza o desdobramento fractal fixo. Isso acarretará a possibilidade de estresse quando o solo estiver com baixa disponibilidade hídrica, pois durante o desenvolvimento, com a memória cognitiva em estabilização fixa, existirão mais estruturas pormenorizadas em adaptação aos nutrientes móveis.

A falta de água em solos, cujos elementos estão em distribuição homogênea e sob regime de estresse hídrico, poderá estimular deficiência instantânea de P, durante a pressão sensorial do estresse hídrico sobre a memória cognitiva que, deveras estruturada, sustentando uma arquitetura residual mais opulenta e bem definida, tem uma breve deficiência metabólica, ao reestruturar a sua dinâmica de comportamento.

A soja estrutura a sua arquitetura como todas as plantas C3, mantendo fluxos de binômio fractal com dessimetria espaço-temporal descontínua durante o ciclo, e de varreduras e desdobramentos no espaço e no tempo; portanto possui uma memória genética bastante estruturada, para garantir maior desenvolvimento de sua memória cognitiva.

A arquitetura radicular passa a ser a máxima representação não linear da forma de um sistema radicular, partindo - com a emissão da radícula pela semente no momento da germinação - de um desdobramento fractal aleatório misto e tendendo, sob o aspecto comportamental, primariamente, à máxima efetivação temporal (memória genética) de estruturas pormenorizadas (ou seja, de pêlos radiculares responsáveis diretos pela absorção de P). Isso ocorre sob quaisquer potenciais hídricos, pois a germinação

precede a embebição da semente e a primeira estrutura, ativa na absorção de um elemento de quase nenhuma mobilidade no solo (P), a vir ao solo numa radícula, é a camada de pêlos absorventes. Sendo assim, o determinante primordial da memória cognitiva é o P, já que, num intervalo de tempo infinitesimalmente pequeno, ocorre a fusão entre água do solo e a água do interior da radícula, garantindo a aquisição de suprimento hídrico imediato que, se contiver suficiência em fluxo contínuo de nutrientes de alta mobilidade no solo, como o nitrogênio (N) e o potássio (K), levará à pormenorizações fractais de crescimento que, em última escala (pêlos absorventes, fractal fixo) estará podendo se valer do P presente no domínio arquitetural, naquele momento.

## CONCLUSÃO

Em sistemas radiculares, a forma é uma contingência da dimensão fractal alcançada num processo cognitivo dinâmico.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANGHINONI, I.; BARBER, S.A. Phosphorus application rate and distribution in the soil and phosphorus uptake by corn. **Soil Science Society of America Journal**, v.44, p.1041-1044, 1980.
- BORKERT, C.M.; BARBER, S.A. Soybean shoot and root growth and phosphorus concentration as affected by phosphorus placement. **Soil Science Society of America Journal**, v.49, p.52-155, 1985.
- BRAY, R.H. A nutrient mobility concept of soil-plant relationships. **Soil Science**, v.78, p.9-22, 1954.
- CAPRA, F. **A teia da vida: uma nova compreensão científica dos sistemas vivos**. São Paulo: Ed. Cultrix, 1996: A matemática da complexidade: geometria fractal.
- CASTILHOS, D.D.; ANGHINONI, I. Influência do suprimento de fósforo a diferentes frações do sistema radicular sobre o comportamento do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.12, p.263-267, 1988.
- FONTES, P.C.R. Distribuição de fósforo no solo afetando o desenvolvimento e absorção de fósforo pelo tomateiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.22, p.367-372, 1987.
- MC CLAUGHERTY, L.A.; ABER, J.D.; MELILLO, J.M. The role of fine roots in the organic matter and nitrogen budgets of two forest ecosystems. **Ecology**, v.63, p.1481, 1982.
- NIELSEN, N.E.; GAHOONIA, T.S. Direct evidence on participation of root hairs in phosphorus ( $^{32}\text{P}$ ) uptake from soil. **Plant and Soil**, v.198, p.147-152, 1998.
- PEARSON, R.W. Significance of rooting pattern to crop production and some problems of root research. In: CARSON, E.W. (Ed.) **The plant root and its environment**. Charlottesville: University Press of Virginia, 1974. p.247-270.
- PIMENTA, E.D.M. **Teleantropos: a desmaterialização da cultura material, arquitetura enquanto inteligência, a metamorfose planetária**. Lisboa: Ed. Estampa, 1999. 380p.
- TEIXEIRA, E.F.; DOURADO-NETO, D.; TERUEL, D.A. **Caracterização do sistema radicular na cultura de soja (*Glycine max* (L.) Merril)**: relatório técnico. Piracicaba: ESALQ, Depto. de Agricultura, 1997. 360p.
- WEAVER, J.E.; JEAN, F.C.; CRIST, J.W. **Development and activities of roots of crop plants**. Washington: Carnegie Institute Washington Publisher, 1922. 316p.
- YAO, J.; BARBER, S.A. Effect of one phosphorus rate placed in different soil volumes on P uptake and growth of wheat. **Soil Science of Plant Analysis**, v.17, p.819-827, 1986.