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

EVERTON FELIX TEIXEIRA
Engenheiro Agrônomo

Orientador: Prof. Dr. Durval Dourado Neto

Dissertação apresentada à Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Mestre em Agronomia, Área de Concentração: Fitotecnia.

PIRACICABA
Estado de São Paulo – Brasil
Dezembro - 2000

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - Campus "Luiz de Queiroz"/USP

Teixeira, Everton Felix
Variabilidade e variação arquitetural do sistema radicular de soja sob influência de fósforo no solo / Everton Felix Teixeira. - - Piracicaba, 2000.
57 p. : il.

Dissertação (mestrado) - - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2000.
Bibliografia.

1. Fósforo 2. Modelo matemático 3. Sistema radicular 4. Soja 5. Solo I. Título

CDD 633.34

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"

Terra, estampada nos meus olhos
Sem ao menos te enxergar por completo
Eu vejo a mim e aos meus pés
Que a ti me prendem
E desisto de saltar, por um momento...
Fecho meus olhos ao sol
Mergulho em teu barro e,
Assim,
Estou vivo...
...dessa tua vida absurda!
E você, inexplicavelmente muda...
...me ensina...!
Que sou o seu pensar aqui por dentro
Ainda que sejas azul...
...longe!
Só será sempre azul em pensamento

eft

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Durval Dourado Neto,

Ao Dr. Dioger Alexandre Teruel,

Aos funcionários e colegas do Departamento de Produção Vegetal da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" – USP,

Aos meus amigos, e

À minha família.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS vi
LISTA DE TABELAS ix
RESUMO x
SUMMARY xi
I INTRODUÇÃO 1
II REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 2
II.1 Modelo e simulação 2
II.1.1 Definições 2
II.1.2 Usos de modelos matemáticos em ciências agrícolas 3
II.1.3 O desafio da modelagem de processos subterrâneos: crescimento e arquitetura radicular 4
II.1.4 Modelos de simulação da estrutura e crescimento de sistemas radiculares 5
II.1.5 O que é arquitetura radicular, qual o seu termo descritor? 6
II.1.5.1 Morfologia 7
II.1.5.2 Topologia 7
II.1.5.3 Distribuição 7
II.1.5.4 Arquitetura 8
II.2 Arquitetura radicular e produtividade da planta 8
II.3 Fertilidade e arquitetura radicular 9
II.4 Fósforo e sua disponibilidade para as plantas 10
II.5 Desafios metodológicos e oportunidades 13
III MATERIAL E MÉTODOS 14
III.1 Material 14
III.2 Metodologia 15
III.2.1 Semeadura 15
III.2.2 Coletas 15
III.2.3 Análise de fotografias 15
III.2.4 Elaboração e análise conjetural de infografias 16

III.2.5 Elaboração de mapas radiculares 16
III.2.6 Filmagens 18
III.2.6.1 Digitalização 18
III.2.6.2 Preparo das fotos 19
III.2.6.3 Retirada dos parâmetros para caracterização arquitetural 19
IV RESULTADOS E DISCUSSÃO 21
IV.1 Um novo paradigma a ser compreendido 27
IV.2 Padrão e estrutura como critérios fundamentais na ótica da nova teoria dos sistemas vivos 28
IV.3 Computadores, memórias e redes: a memória dentro do processo mental sob uma analogia computacional 29
IV.4 A memória genética e memória cognitiva de um sistema radicular numa escala de tempo linear, evidenciando suas implicações no comportamento arquitetural 33
IV.5 Geometria fractal 42
IV.6 Simetria, assimetria, dessimetria 45
IV.7 Considerações finais 47
V CONCLUSÕES 49
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 52

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Acompanhamento do gradiente de distribuição de eixos durante um momento do comportamento da arquitetura radicular da soja. _____ 24

Figura 2. Evolução da distância média entre ramificações num ambiente com pouco P. _____ 24

Figura 3. Evolução da distância média entre ramificações num mesmo ambiente com mais P. _____ 25

Figura 4. Evolução do comprimento médio do maior eixo de ordem 1, mapeado num ambiente com pouco P. _____ 25

Figura 5. Evolução do comprimento médio do maior eixo de ordem 1, mapeado num ambiente com ~~pouco~~ P. _____ 26

Figura 6. Infografia representativa de uma raiz no espaço tridimensional e sua reação diferencial. _____ 26

Figura 7. Redes e conectividade. A vulnerabilidade dos padrões fixos. _____ 32

Figura 8. Raízes da planta de abacaxi, monocotiledônea da família das bromélias (crescimento inicial em água destilada). _____ 34

Figura 9. Rizoma (C) de samambaia e o resíduo arquitetural da memória cognitiva de seu sistema radicular (R). _____ 34

Figura 10. 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. _____ 35

Figura 11. Diagramas construídos via interpretação dos gráficos obtidos através da análise quantitativa e do posicionamento dos eixos residuais em meios com P distribuído homogeneamente (diagrama da esquerda: pouco P; diagrama da direita: mais P). _____ 36

Figura 12. Infografia representativa da evolução da arquitetura radicular sob 'pressão sensorial' diferencial, no tempo e no espaço em domínio. _____ 37

Figura 13. Dissecação da estrutura radicular (R) de *Oncidium sphacelatum* (família das orquídeas): (b) é a epiderme, e a sua excessiva estratificação (a) é o velame, associado à proteção e à absorção da água, mesmo que diretamente do ar. 38

Figura 14. Fotografia do início do acompanhamento da evolução espaço-temporal do comportamento (leia-se também estruturação) da arquitetura de um sistema radicular de milho (monocotiledônea), sob um pormenor visual. 39

Figura 15. Desenho esquemático da dimensão estrutural integral da arquitetura de um sistema radicular de milho (primeiro momento). Simulação estática de sua memória cognitiva. 39

Figura 16. Fotografia do segundo momento do acompanhamento da evolução espaço-temporal do comportamento (leia-se também estruturação) da arquitetura de um sistema radicular de milho (monocotiledônea), sob um pormenor visual. 40

Figura 17. Desenho esquemático da dimensão estrutural integral da arquitetura de um sistema radicular de milho (segundo momento). Simulação estática de sua memória cognitiva. 40

Figura 18. Fotografia do terceiro momento do acompanhamento da evolução espaço-temporal do comportamento (leia-se também estruturação) da arquitetura de um sistema radicular de milho (monocotiledônea), sob um pormenor visual. 41

Figura 19. Desenho esquemático da dimensão estrutural integral da arquitetura de um sistema radicular de milho (terceiro momento). Simulação estática de sua memória cognitiva. 41

Figura 20. Primeira e segunda imagens fractais, de um pormenor, do Conjunto Mandelbrot. 43

Figura 21. Infografia representativa do desdobramento fractal natural, comportamento típico do processo cognitivo de um sistema radicular durante o rastreamento do solo em domínio. 43

Figura 22. 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 'substância' final. 44

Figura 23. O continuísmo dessimétrico do bonsai faz com que os olhos não parem de rastreá-lo. 45

Figura 24. Infografia representativa do processo de pormenorização num comportamento fractal natural. 46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Mapa descritivo do sistema radicular (uma aproximação estática da arquitetura radicular). 22

Tabela 2. Medidas extraídas de indivíduos em diferentes épocas de desenvolvimento em solo com fertilidade homogênea. 23

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

Autor: Everton Felix Teixeira

Orientador: Prof. Dr. Durval Dourado Neto

RESUMO

A mais de 70 anos, já compreenderam que para se poder ter uma idéia de uma raiz, em seus detalhes mais discretos (pêlos radiculares) não haveria outra maneira, senão imaginá-las. O primeiro padrão simbólico proposto para a aquisição do conhecimento disso foi o desenho extraído de raízes em um perfil de solo, mas a arquitetura radicular não é uma relação bidimensional entre frações aparentes (ramificações) de sistemas radiculares. A arquitetura radicular, como estruturação estática corresponde à sua variabilidade, um conceito dependente da extração e da tentativa de observação dessa complexidade. A variação é o próprio comportamento da arquitetura que é intrínseco à pressão do meio. Portanto o conceito de arquitetura radicular não deve estar desconectado da idéia do contínuo. Hoje, o homem ainda conta com pouco conhecimento adquirido sobre a arquitetura radicular em seu complexo desenvolver às escuras. Então, sob uma ótica completa, a única solução para a captura da integridade da arquitetura radicular é a adoção de um modo de pensar contemporâneo, estabelecendo-se a integração de novas concepções sobre sistemas e padrões virtuais de memória. Isso suporta a analogia sobre o comportamento arquitetural a partir de uma análise incompleta do sistema radicular, ou melhor, dos elementos estáticos que compõem sua memória residual. Assim, pôde-se concluir informações a respeito da variabilidade e da variação arquitetural do sistema radicular de soja (*Glycine max* (L.) Merril), sob influência do fósforo no solo. Portanto, em sistemas radiculares, a forma vislumbrada é uma contingência da dimensão fractal alcançada num processo cognitivo dinâmico.

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

Author: Everton Felix Teixeira

Adviser: Prof. Dr. Durval Dourado Neto

SUMMARY

For more than 70 years, there is accordance that the best procedure to obtain an idea about the root system in more discrete details (root hairs) is the mental model. The first symbolic pattern proposed to capture the knowledge of it was the draw made from roots in a soil profile view, but the root architecture is not a bi-dimensional relation between apparent fractions (branches) of root systems. The root architecture, as a static structure, corresponds to its variability, what is a concept depending on its extraction and the attempt to visualize its complexity. Variation is inherent of architecture behavior, intrinsic to the environmental pressure. So, the root architecture concept does not have to keep disconnected to the *continuum* idea. Man has yet limited knowledge about root architecture in its complex development in darkness. Therefore, under a broader approach, the unique solution for the capture of the entire root architecture is to adopt a contemporary way of thinking, setting up the aggregation of new concepts about systems and virtual memory patterns. This give us the basis to support the analogy about the architectural behavior from a incomplete analysis of the root systems, or better, of the static elements components of its residual memory. Thus, in this study, it could be inferred information about variability and variation in soybean root system (*Glycine max* (L.) Merril) under influence of phosphorus in the soil. Thought, in root systems, the abstracted shape is a contingence of the fractal dimension reached under a dynamic cognitive process.

I INTRODUÇÃO

Há mais de 70 anos já compreenderam que um conhecimento exato do desenvolvimento das raízes das plantas cultivadas, da sua posição, extensão e 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).

Como investigar e compreender os sistemas radiculares, sua complexa variação arquitetural a cada indivíduo no tempo, e sua profusa variabilidade às diversas espécies? Como o P (fósforo) age na dinâmica dos sistemas radiculares sob uma aproximação estrutural? Quais os resultados desencadeados na arquitetura radicular sob essa interferência?

Segundo Weaver & Bruner (1927), um estudante de produção vegetal deveria ter uma nítida imagem mental da planta como um todo. Mas na planta, nossa concepção mental é ofuscada pelo fato de um de seus importantes componentes estar sob o solo.

Embora essa importância tenha sido destacada há muito tempo, o progresso nessa área ainda está muito atrás do obtido em outras áreas do conhecimento relativas à produção vegetal, devido à própria dificuldade de acesso ao sistema radicular.

Objetivou-se, na presente dissertação, fazer uma abordagem filosófica para aprimorar a constituição conceitual para o desenvolvimento de metodologia (i) para apreensão e domínio de informações imprescindíveis à caracterização arquitetural do sistema radicular de soja sob influência de fósforo no solo, em termos de variabilidade e variação, e (ii) para subsidiar o desenvolvimento de modelo.

II REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Com a intensificação das atividades agrícolas, crescem as exigências por níveis de controle do ambiente no qual as plantas se desenvolvem. Níveis estes que vão desde melhores sistemas de utilização do solo até o controle total de um ambiente sob isolamento, onde a maioria das variáveis atmosféricas e de solo possa ser controlada. Sobre estes aspectos, modelos de crescimento e desenvolvimento das plantas devem ser desenvolvidos, visando fornecer uma base lógica para o planejamento e o manejo.

O planejamento, como fator importante e decisivo na execução de um objetivo, é a chave para a visualização e o entendimento das interações entre a gama de processos que compõem um sistema, sendo assim, um modelo prévio se torna indispensável num plano que vise a execução de uma ação sob controle.

O modelo aplicado a plantas também pode ser útil como um meio de auxiliar o pesquisador a definir prioridades de pesquisa.

II.1 Modelo e simulação

II.1.1 Definições

Simular significa imitar, reproduzir, fazer parecer igual. Simulação, portanto, pode ser definida como a arte de fazer parecer igual (Pereira, 1987). A arte de simular é tão antiga quanto o próprio homem; desde os primórdios da civilização o homem teve que se adestrar para sobreviver, utilizando, mesmo que inconscientemente, simulação de futuros processos reais para se preparar para a vida. Simulação é, pois, uma analogia com a realidade.

Em agricultura, a simulação é importante para prever os resultados de um determinado sistema de manejo ou de uma determinada condição ambiental (Wu et al., 1996).

Para que haja a simulação, há que se ter um modelo. Modelo é uma palavra que admite várias conotações, entre as quais podem ser citadas: (1) a representação de alguma coisa, usualmente em menor escala que a original ou (2) uma simples descrição de um sistema, usada para explicá-lo, fazer cálculos (Crowther, 1995; Procter, 1995).

Nota-se pelas definições que os modelos podem ser tanto um molde, uma representação simplificada, como uma abstração de uma realidade (sistema).

II.1.2 Usos de modelos matemáticos em ciências agrícolas

Segundo Rimmington & Charles-Edwards (1987), três tipos de atividades de pesquisa podem ser distinguidos nas ciências agrícolas: (i) a aquisição de conhecimento; (ii) a ordenação do conhecimento e o desenvolvimento de entendimento baseado naquele conhecimento, e (iii) a aplicação do conhecimento e/ou entendimento na solução de problemas práticos. Os modelos matemáticos podem ser usados em diferentes modos dentro de cada uma destas três atividades. Cabe aqui diferenciar "conhecimento" de "entendimento"; conhecer é simplesmente estar consciente dos fatos a respeito de um fenômeno, enquanto que entender é perceber a significância de um fenômeno ou ser capaz de explicá-lo baseado no que se conhece dele.

Os modelos matemáticos são essencialmente descrições simplificadas de sistemas reais que construímos para ajudar-nos a melhor entender o funcionamento de um sistema real e as interações de seus componentes principais. Modelos matemáticos são excelentes mecanismos de previsão; a popularização de computadores, capazes de executar grande quantidade de operações aritméticas e lógicas em tempo reduzido, permitiu um grande avanço na área de simulação matemática. À medida que nos ajuda a compreender

melhor o sistema, um modelo tem ação sinergística sobre o conhecimento, mesmo quando suas previsões são falhas (Pereira, 1987).

II.1.3 O desafio da modelagem de processos subterrâneos: crescimento e arquitetura radicular

Durante o crescimento vegetativo de uma planta, seu sistema radicular se expande verticalmente e lateralmente, podendo ocupar um volume de solo maior que as dimensões da parte aérea. Raízes finas podem representar mais que 50% da massa total de raízes, sendo que estas apresentam uma alta taxa de renovação: crescendo, sendo ativas por poucos dias, morrendo, se decompondo e sendo substituídas por novas raízes finas (Mc Claugherty et al., 1982).

O desenvolvimento radicular comumente é interrompido após o florescimento, havendo rápida senescência durante a maturação das sementes.

Os desafios de se quantificar os processos de crescimento, renovação e senescência de sistemas radiculares são, entre outras coisas, devidos a: (i) a complexa geometria dos sistemas radiculares em sua proliferação em três dimensões no solo; (ii) a longa faixa em tamanho e diâmetro desde as mais finas raízes e pêlos absorventes até as grossas raízes suberificadas de plantas perenes; (iii) a diferente atividade fisiológica de raízes de diferentes idades; o rápido crescimento e decomposição de raízes finas; (iv) os complexos processos microbiológicos ocorrendo na interface solo-raiz; (v) as relações simbióticas na rizosfera; e (vi) o ambiente de solo (físico, químico e biológico) variável no qual as raízes se desenvolvem (Luxmoore & Stolzy, 1987).

Essa complexidade leva a pensar que este é um problema intratável sob os aspectos da modelagem, no entanto ela somente reforça a nossa necessidade de pragmatismo durante o planejamento da modelagem.

No trabalho de Weaver & Bruner (1927), através da escavação das raízes, notas detalhadas e medidas cuidadosas eram feitas no campo. Após o exame de muitas plantas, esses registros eram estudados e qualquer ponto que

permanecesse indefinido era esclarecido através de estudos posteriores. Esse método fornecia um alto grau de precisão. Desenhos de raízes eram produzidos no campo sobre uma grande folha com caneta, e finalmente retocados com tinta nanquim. Eles eram feitos no exato momento da escavação das raízes e sempre através de medições exatas. Nos desenhos, as raízes eram dispostas o mais próximo possível em um plano vertical, onde cada raiz era localizada na sua posição natural com referência à superfície do solo e uma linha vertical partindo da base da planta. Mesmo com os desenhos sendo feitos em grande escala, as raízes de menor ordem eram tão abundantes que o seu número total era impossível de ser representado (incapacidade se representar a continuidade das ramificações até o seu último pormenor, ou seja, os pêlos absorventes).

Tais desenhos, contudo, cuidadosamente executados, representam a extensão e a posição de ramificação do sistema radicular mais apuradamente que uma fotografia, sob as mais favoráveis condições, especialmente com raízes extensas. A fotografia em condições de campo é sempre feita com perda de detalhes, com muitas ramificações finas e extremidades de raízes sendo obscurecidas.

II.1.4 Modelos de simulação da estrutura e crescimento de sistemas radiculares

Um sistema radicular pode ser visto como o resultado de efeitos acumulados do crescimento e da ramificação de porções individuais de tecido radicular em resposta às condições locais de solo e ao estado total da planta (Diggle, 1988).

Os primeiros modelos de variação temporal do sistema radicular apareceram há mais de 20 anos atrás, podendo ser citados os modelos de Hackett & Rose (1972) e de Lungley (1973). Mais tarde apareceram modelos como os de Rose (1983) e de Porter et al. (1986), que produzem como resultado o número e o comprimento dos membros do sistema radicular das

diferentes ordens (raízes primárias, secundárias, terciárias, até raízes de n-ésima ordem), mas que não mantém um registro da localização de cada parte componente do sistema.

Esforços recentes têm levado ao desenvolvimento de modelos que geram uma representação tridimensional do sistema radicular, com a locação de todas as ramificações e trechos da raiz, a cada intervalo de tempo (Diggle, 1988; Pages et al., 1989). Mais recentemente, Clausnitzer & Hopmans (1993) apresentam um modelo que não só simula o crescimento da raiz como um processo controlado pelas condições físicas do solo, mas que também simula simultaneamente o efeito do crescimento das raízes sobre as condições do solo.

No desenvolvimento e na aplicação desses modelos alguns parâmetros devem ser conhecidos, a se saber: (i) Parâmetros de tempo: a duração total da simulação e a duração de cada intervalo; (ii) Parâmetros de temperatura, pois todas as taxas de crescimento são dependentes da temperatura (Diggle, 1988): portanto deve-se conhecer a variação da temperatura do solo em profundidade; (iii) Parâmetros de crescimento e ramificação, como taxa de alongamento da raiz, densidade de ramificação, duração da não ramificação do ápice, probabilidade de ramificação e outros (Hackett & Rose, 1972; Lungley, 1973; Porter et al., 1986; Rose, 1983; Diggle, 1988); (iv) Parâmetros afetando a direção de crescimento, como índice de geotropismo, ângulo de deflexão e ângulo máximo de ramificação (Diggle, 1988; Pages et al., 1989).

II.1.5 O que é arquitetura radicular, qual o seu termo descritor?

O termo "arquitetura" se refere a objetos biológicos usualmente designando a configuração espacial de algum complexo formado a partir de subunidades, com a implicação de que toda configuração tem alguma significância funcional. O termo "arquitetura radicular" vem sendo usado em vários contextos para referir-se a aspectos distintos da forma de sistemas

radiculares. Os itens a seguir delineiam mais claramente a arquitetura a partir de outros termos (Teixeira et al., 1997).

II.1.5.1 Morfologia

Morfologia radicular refere-se à características superficiais de uma porção individual do eixo da raiz como um órgão, incluindo características da epiderme, como pêlos absorventes, diâmetro radicular, presença e tamanho da coifa, o padrão de aparecimento de raízes filhas, ondulações no eixo radicular e senescência do córtex. Características da raiz relacionadas às suas células e organização dos seus tecidos usualmente não fazem parte de considerações sobre arquitetura.

II.1.5.2 Topologia

Topologia radicular refere-se a como eixos individuais da raiz estão conectados entre si através da ramificação. A topologia radicular é estável à deformação ou rotação dos eixos e, por essa razão, é possível de ser medida em sistemas radiculares escavados, sem preocupação com a sua orientação espacial no solo.

II.1.5.3 Distribuição

A distribuição da raiz refere-se à presença (mais que à orientação) de raízes em um gradiente posicional ou numa grade. Tipicamente, em estudos de distribuição radicular existe a preocupação de se conhecer a biomassa da raiz ou o seu comprimento como função de fatores relativos a sua profundidade no solo, distância à partir da haste, e posição entre plantas vizinhas. Medições de distribuição radicular em comunidades de plantas na agricultura ou em condições naturais freqüentemente incluem raízes de mais que uma planta ou mais que uma espécie.

II.1.5.4 Arquitetura

Arquitetura radicular denota a configuração espacial de um sistema radicular, incluindo a explicitação geométrica do posicionamento dos eixos radiculares. Costumeiramente, estudos de arquitetura radicular não incluem detalhes estruturais muito finos, como pêlos absorventes, e preocupam-se em descrever um sistema radicular completo ou uma porção significante de um sistema radicular de uma planta individual.

Como tentativa de descrição de múltiplos eixos radiculares a arquitetura é superior à topologia e à distribuição, pois a partir do momento que a arquitetura é conhecida, ambas topologia e distribuição são também conhecidas. Por outro lado, nem a topologia e nem a distribuição podem ser usadas para derivarem outros dois descritores.

Em concordância, topologia e distribuição são mais facilmente mensuráveis compreensíveis que a arquitetura radicular e, por isso, são mais comumente utilizadas em estudos da estrutura radicular.

II.2 Arquitetura radicular e produtividade da planta

Embora não existam estimativas quantitativamente precisas quanto a extensão e importância das restrições edáficas para a produtividade da planta, elas devem ser certamente muito significativas. Aproximadamente um terço da superfície continental do globo é árida, e são poucas as áreas, mesmo nos trópicos úmidos, que não estão sujeitas a períodos de seca de duração suficiente para impedir o desenvolvimento das plantas. Limitações nutricionais são bem menos conhecidas, mas podem ser igualmente importantes. Solos com disponibilidade N e P em quantidade subótima são aproximadamente universais, e acidez, salinidade, e desequilíbrio de bases são comuns em solos nativos.

A importância da arquitetura radicular na produtividade da planta reside no fato de que muitos recursos do solo estão distribuídos de maneira não uniforme, ou estão sujeitos à depleção localizada, então, a configuração

espacial do sistema radicular procura explicar o comportamento da planta na exploração desses recursos.

II.3 Fertilidade e arquitetura radicular

Plantas adaptadas a ambientes não férteis alocam uma grande proporção do seu carbono assimilado na biomassa sob o solo e são relativamente inflexíveis quanto a essa partição, comparadas com plantas adaptadas a ambientes mais férteis, ao nível de alocação em subsuperfície (Christie & Moorby, 1975, Chapin, 1980).

Um grande sistema radicular com baixa capacidade de absorção de nutrientes é eficiente para adquirir nutrientes através de solo não férteis, desde que o suprimento disponível de nutrientes freqüentemente limite a aquisição (Nye, 1977; Chapin, 1980).

Plantas de ambientes não férteis, entretanto, podem obter uma significativa porção dos seus nutrientes durante estações do ano onde haja um aumento na disponibilidade de nutrientes (Chapin, 1980; Crick & Grime, 1987). Sob estas circunstâncias, a habilidade para temporariamente aumentar a capacidade de aquisição ou desenvolvimento radicular deve ser de considerável significância.

A plasticidade do sistema radicular em capacidade de aquisição e taxa de crescimento deve também ser vantajosa quando nutrientes são espacialmente heterogêneos. Tal plasticidade pode ser particularmente importante quando a competição por recursos subterrâneos é intensa. (Crick & Grime 1987; Campbell & Grime 1989).

Aumento da proliferação de raízes finas em resposta a um enriquecimento de nutrientes localizado tem sido relatado para uma diversidade de espécies, representando espécies de rápido e vagaroso desenvolvimento, bem como competitivas e não competitivas. Alguns estudos têm examinado espécies não cultivadas. *Agrostis stolonifera,* uma espécie provinda de ambiente fértil, proliferou raízes em zonas enriquecidas com nutrientes, mas

Scirpus sylvaticus, uma espécie de ambiente não fértil, não (Crick & Grime, 1987).

Larigauderie & Richards (1994), pesquisando características de proliferação radicular de sete poáceas (gramíneas) perenes de ambiente árido em micro zonas enriquecidas com nutrientes, destacaram que a proliferação radicular foi principalmente o resultado do incremento de ramificações laterais e crescimento dessas ramificações em todas sete plantas. A consistência da resposta de proliferação radicular entre estes sete cultivares sugere que diferenças na capacidade para se alcançar taxa máxima de crescimento ou as bases morfológicas do desenvolvimento radicular não devam estar diretamente relacionados a características tais como produtividade e habilidade competitiva.

Outros aspectos da resposta radicular ao enriquecimento com nutrientes, tais como respostas diferenciadas em função da concentração localizada, fenologia da planta, grau de importância de determinado nutriente para determinado vegetal, elemento(s) nutriente(s) específico(s), devem ser importantes, contudo, deve-se promover novos experimentos para se determinar essa importância.

Solos com micro zonas ricas em nutrientes disponíveis são uma importante fonte de nutrientes minerais para plantas em muitos ambientes. Pontuações com nutriente disponível abaixo do solo são análogas às condições de disponibilidade para espaços no dossel, sobre o solo. Embora as mudanças fisiológicas ocorridas em folhas expostas ao sol e sombra em dosséis sejam bem conhecidas, não se conhece qualquer estudo que mostre mudanças fisiológicas similares em raízes em pontuações enriquecidas no solo.

II.4 Fósforo e sua disponibilidade para as plantas

A aplicação do fertilizante fosfatado a uma menor fração de um dado volume de solo tem a vantagem de proteger o P contra as reações de adsorção, pois diminui 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, como verificado por alguns autores (Yao & Barber, 1986).

Por outro lado, à medida que se aumenta a taxa de localização do P, diminui-se o volume de solo fertilizado à disposição do sistema radicular, e a aplicação de P, de modo a entrar em contato com o maior número de raízes possível, é condição para maior absorção do nutriente e crescimento do milho (Novais et al., 1985).

A redução na fração do volume de solo fertilizado, à disposição das raízes, pode ser em parte 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 um 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). Em trabalho com raízes divididas, a aplicação da dose de P ao solo dos dois vasos proporcionou melhor crescimento do milho que sua localização em apenas um dos vasos (Novais et al., 1985).

Em condições de campo, Castilhos & Anghinoni (1983) observaram que o aumento no teor de P na região fertilizada do solo, pela localização do fertilizante, não afetou o crescimento e a distribuição das raízes de milho.

Por outro lado, Castilhos & Anghinoni (1988) observaram que a absorção de fósforo por unidade de raiz exposta ao P foi superior quando, inicialmente, menor fração de raízes foi colocada na solução contendo o nutriente, o que permitiu a manutenção da produção de matéria seca do milho.

Em trabalhos com raízes subdivididas, o crescimento da soja foi maior quando toda a dose de P foi aplicada apenas ao solo de um dos vasos (Machado et al., 1983).

Nielsen & Gahoonia (1998) provaram, através de um experimento onde se utilizou ^{32}P, a evidência direta da participação dos pêlos radiculares na aquisição do P, sendo que quantificaram uma proporção de 70% de pêlos radiculares crescendo em solo marcado, responsáveis por 63% do total de P adquirido. Uma extrema evidência de que é importante ao vegetal a manutenção dessas menores estruturas em escala radicular, para que mantenham a sua substancial participação na aquisição de P do solo.

Jackson et al. (1990) apresentaram evidências do significativo e rápido crescimento radicular durante a cinética de aquisição das raízes de um vegetal após seu encontro com pontuações de solo ricas em nutrientes, no campo. Segundo os mesmos autores, a notável taxa de aquisição de fosfato a partir de uma concentração externa cresceu em 80% para raízes de solos com pontuações enriquecidas em relação a raízes de controle com pontuações tratadas com água destilada (defectivo, pois elabora um raciocínio parcial e estático).

Esse grau de plasticidade foi particularmente notado para plantas se desenvolvendo em solos com muito pouca disponibilidade de fósforo. Estes resultados mostrando rápida plasticidade fisiológica de raízes em pontuações mais férteis no volume explorado de solo têm importantes implicações para a teorização e modelagem da aquisição de nutrientes em todos os solos.

II.5 Desafios metodológicos e oportunidades

O uso de modelos para a simulação exige inferências criativas para o estudo da arquitetura radicular. Conhecemos relativamente pouco a respeito da arquitetura de raízes, pois essa característica é difícil de ser observada e interpretada.

Raízes crescem no solo, um meio opaco do qual nós não podemos separá-las ou observá-las prontamente, sem que introduzamos artefatos, destruindo sua arquitetura original, e impedindo análises sucessivas de um mesmo indivíduo.

Os sistemas radiculares são estruturas excessivamente complexas, tipicamente sendo compostos de milhares de eixos radiculares individuais que variam quanto ao desenvolvimento, fisiologia e morfologia. Até o presente momento, não existem análises satisfatórias das estruturas radiculares, ou ferramentas adequadas para descrever ou sumarizar sua complexidade. Além do mais, o desenvolvimento radicular e sua arquitetura são plásticos e interagem dinamicamente com uma vastidão de fatores de ordem física, química e biológica no solo, que variam no tempo e no espaço.

Essas dificuldades em se analisar a arquitetura de um sistema radicular fazem dos modelos de simulação uma abordagem complementar atraente. A simulação tem um valor heurístico no auxílio ao modelador em definir processos relevantes e interações, analisando o impacto de variáveis isoladas no desempenho de um sistema através de análises de sensibilidade, e emitindo sugestões e hipóteses para experimentações (Wullschleger et al., 1994).

III MATERIAL E MÉTODOS

III.1 Material

Foram utilizadas sementes de soja para a semeadura em germinador e em casa-de-vegetação.

Para a adubação em área total individual de 1,5 m^2, utilizou-se 22,5 gramas de sulfato de amônio, 15,0 gramas de cloreto de potássio e 67,0 g de super fosfato simples, correspondentes a 30 gramas de N, 60 gramas de K_2O e 80 gramas de P_2O_5 por m^2.

Foi feito um ensaio sobre respostas compensatórias do sistema radicular sob fertilidade controlada, onde se desenvolveu primeiramente quadros com três folhas de papel absorvente (papel germinador) capazes de acondicionar uma planta em desenvolvimento, bem como saquinhos de papel absorvente com formato quadrado ou com o formato de faixa em cujo interior foi colocada uma porção de areia (10 gramas) misturada a uma adubação de semeadura (NPK), em proporção exata de massas, para a obtenção de concentrações duas vezes a adubação de plantio.

Capazes de serem dispostos em qualquer local na área do quadro, por trás 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.

Estabelecimento de relação direta com os vegetais: coletas de indivíduos de famílias, gêneros e espécies diversas em seu *habitat* ou não, inferências visuais instantâneas (arquitetura *in situ*) comparativas de 'parcelas indiscretas' da arquitetura de sistemas radiculares.

III.2 Metodologia

III.2.1 Semeadura

Semeadura de soja 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 supracitada. Paralelamente, como um meio de se estimular o raciocínio sobre o desenvolvimento radicular em locais de baixa fertilidade, e com eutrofismo localizado, foi feito o ensaio em germinador que procurou detectar variações no comportamento radicular, a fim de se visualizar respostas compensatórias ao desenvolvimento das raízes nessas condições.

III.2.2 Coletas

As coletas foram feitas com a escavação manual do solo, procurando-se observar atentamente a disposição espacial da arquitetura do sistema radicular, enquanto se tomava todo o cuidado para extraí-lo, o mais intacto possível, numa ação impossível de não ser defectiva (que falta alguma coisa, imperfeita, defeituosa).

Ressalta-se também um detalhe histórico inserido no método de coleta; a visualização da arquitetura radicular no momento da sua coleta e o seu desenho esquemático com níveis de detalhes dependentes do propósito de estudo e da sensibilidade do desenhista, no propósito de se mentalizar a estruturação radicular da planta submetida a diferentes tratamentos, num auxílio direto para a consideração de variações estruturais bem como a proposta de hipóteses relativas a essas variações.

III.2.3 Análise de fotografias

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.

III.2.4 Elaboração e análise conjetural de infografias

A infografia como composição artística derivada do processo evolutivo do desenho no papel e também da modelagem de peças (objetos), é um produto de mapeamento digital em duas ou três dimensões, resultando numa imagem com qualidade fotográfica, construída totalmente no ciberespaço, a partir de sua elaboração com a integração de vários softwares. Observa-se que uma fotografia digital obtida por meio de câmeras ou *scanners*, não se trata de infografia.

Após incontáveis análises visuais (defectivas) de uma ampla gama de sistemas radiculares de árvores caídas ou arrancadas, vegetais de menor porte como mudas ou plantas herbáceas, e raízes de plantas aquáticas como a elódea, bem como sementes em germinação, utilizou-se a técnica da infografia para auxílio ao estabelecimento de raciocínio sobre as relações de causa e efeito na complexidade de uma estrutura radicular.

III.2.5 Elaboração de mapas radiculares

Através de metodologia desenvolvida pelo autor e colaboradores obteve-se a configuração da aproximação bidimensional (cartesiana) de porções de ramificações radiculares no sentido de caminhamento; parte aérea - raízes.

O resultado lógico deste procedimento e um método somatório simples proposto para a demonstração da 'dessimetria espaço-temporal' na composição arquitetural de sistemas radiculares, idealizando-se suas diferentes estratégias de rastreamento do meio físico.

Aproximações destas conseqüências em diferentes escalas estruturais foram acrescentadas à base do raciocínio conceitual sobre arquitetura radicular que segue no próximo tópico, amparado por conceitos adicionais.

Em virtude de uma melhor compreensão dos métodos de campo utilizados para se estudar o sistema radicular seguem abaixo a descrição dos mais consagrados:

(i) métodos de escavação: Nesses métodos o sistema radicular ou parte dele é exposto no perfil do solo por meio de escavação e limpeza com escovas ou o uso de ar ou água sob pressão. Essa técnica, possibilita a descrição da morfologia, extensão e ramificação do sistema radicular, mas tem como grande limitação o tempo e trabalho consumidos, além de se constituir numa técnica muito destrutiva de detalhes estruturais muito finos. É eficiente em raízes pouco delicadas e grandes; (ii) métodos de monolito: Permitem análises quantitativas do sistema radicular. Amostras de solo de diferentes tamanhos são retiradas do perfil do solo, o solo é separado das raízes e as raízes colocadas em peneiras. Após a remoção dos detritos, a massa e o comprimento das raízes são determinados.

O método mais simples de se retirar monolitos é pela escavação com pás, mas uma técnica mais eficiente é a remoção de camada por camada de solo a partir da parede lateral de uma trincheira. Também podem ser usados amostradores especiais, como caixas e armações metálicas (as chamadas "camas de pregos").

Esse último permite a combinação da análise quantitativa do sistema radicular com a sua representação pictorial (localização no espaço tridimensional) (Schuurman et al., 1971); (iii) métodos de tradagem: São usados para se tomar amostras volumétricas de solo-raiz com o uso de um trado, diretamente a partir da superfície do solo, sem a escavação de uma trincheira.

A análise de raízes é feita como no método do monolito; métodos de estudo do perfil de uma trincheira: O sistema radicular é exposto em uma parede vertical de uma trincheira com o uso de ferramentas e água ou ar sob pressão.

As raízes, fixas em sua posição original, são contadas e sua medida é estimada, sendo que sua posição é plotada num filme plástico transparente, ou

pode ser plotada a partir de fotografias; (iv) métodos da parede ou tubo de vidro: A taxa de crescimento das raízes visíveis através de paredes de vidro verticais ou inclinadas é estudada em intervalos curtos de tempo. O crescimento da raiz pode ser estimado, partindo-se da visualização através de tubos de vidro inseridos inclinadamente no solo, por uma técnica simples de espelho e iluminação (Waddington, 1971); e (v) métodos indiretos: Podem ser citadas como exemplo as técnicas com emprego de soluções traçadoras, onde essas soluções são injetadas em diferentes partes do solo ou da planta e depois é feita a medida da radioatividade em diferentes locais do solo ou da planta.

III.2.6 Filmagens

As filmagens ocorriam rapidamente após a coleta e limpeza do material, que consistia em 3 plantas para cada tratamento por época de coleta. Seu sistema radicular era disposto sobre fundo branco e após a sua reconfiguração bidimensional, disposição de uma régua com escala em centímetros no enquadramento (fator de escala) e identificação adequada, era feita uma tomada média de 5 segundos para cada uma das repetições (plantas), sendo que a reconfiguração de cada sistema radicular durava em média 5 minutos. Em virtude das diferenças de aproximação da câmera para cada tomada, foram obtidas fotos em diversas escalas.

III.2.6.1 Digitalização

Após a filmagem, cada uma das tomadas de 5 segundos era capturada pelo software (Adobe-Première LE), sendo transformada em seqüências "quadro a quadro", onde, de um total médio de 70 quadros para cada tomada de um indivíduo, depois de se proceder com análise visual de resolução, contraste, brilho e sombra mais adequados, escolhia-se um quadro que, por conseguinte, era transformado numa foto digital, de formato *bitmap* (.bmp) e de dimensões reduzidas (3,18 cm x 4,23 cm) em virtude da capacidade de

definição da versão "standard" do software adquirida, e, dando procedimento, as fotos eram dispostas no software MSPowerPoint em galerias separadas por cultivar, tratamento e em seqüência relativa aos dias após a germinação das plantas, sendo retocadas segundo ao brilho e contraste. Em uma análise preliminar das fotos na seqüência em que elas aparecem numa galeria, fica pouco explícita a lógica dos tamanhos dos sistemas radiculares, fator esse decorrente das escalas distintas de filmagem de cada raiz. Olhando-se atentamente a régua (31 cm x 2,5 cm) que sempre aparece num dos lados da imagem, consegue-se perceber os tamanhos reais a fim de os comparar mentalmente.

III.2.6.2 Preparo das fotos

Após a impressão das galerias, em virtude da somatória de vários fatores, dentre os quais: (i) recurso de filmagem não profissional; (ii) software de captura com baixa resolução máxima; (iii) impressão de baixa resolução máxima; (iv) papel comum para a impressão de fotos; e (v) fotos pequenas.

Procedeu-se com o retoque manual das fotos com caneta hidrográfica ultra-fina (0,1 mm). Vale ressaltar que optou-se pelas fotos em preto e branco, embora filmadas em cores, devido ao maior contraste entre sistema radicular e fundo de filmagem, possibilitando uma melhor visualização da arquitetura radicular a nível de raízes secundárias muito finas, essenciais para uma caracterização mais apurada da arquitetura radicular da soja.

III.2.6.3 Retirada dos parâmetros para caracterização arquitetural

Após a retocagem das fotos, sorteou-se a repetição (planta) número 1 para todos os tratamentos em casa-de-vegetação, na intenção de se caracterizar as variações na arquitetura dos sistemas radiculares individualmente.

Produziu-se ferramentas gráficas em papel transparente com a ajuda de um transferidor e de uma grade milimetrada, onde foram gabaritados ângulos

de 0° até 90°, variando de 5° em 5°, a fim de utilizá-los na comparação com as angulações naturais, intencionando-se registrá-las.

Em analogia ao caminhamento topográfico, onde um ponto inicial é amarrado à uma localidade conhecida e invariável no tempo, e a partir daí uma seqüência orientada de caminhamento é produzida com a utilização de ângulo de orientação e ângulos de deflexão em relação ao sentido do caminhamento, tomou-se por ponto inicial a linha limítrofe entre o final do caule e o início do sistema radicular, geralmente coincidente com o plano da superfície do solo.

Numa perpendicular imaginária, traçada na intersecção entre a superfície do solo e o ponto inicial, definiu-se a orientação 0° e as orientações decorrentes do "caminhamento" através do sistema radicular, pelas raízes de ordem 1 e 2, ficaram "amarradas" a linha perpendicular imaginária, sendo que as deflexões foram medidas em relação ao sentido do "caminhamento" em cada eixo distintamente, todos ângulos variando com o sinal "-" (negativo) se fossem originados no sentido horário, e "+" (positivo) se fossem originados no sentido anti-horário.

Fundamentando-se essa analogia, partiu-se então para a confecção de uma ficha, batizada de *mapa descritivo do sistema radicular*, onde espera-se que alguém que queira redefinir a arquitetura bidimensional de um indivíduo, caracterizada nesse registro, a partir da sua interpretação gráfica, a consiga facilmente.

IV RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como resultados, seguem durante a discussão os registros visuais que caracterizam a base abstrata para a concretização de alguns conceitos sobre arquitetura radicular e a implicação desses conceitos na compreensão da variação e da variabilidade do comportamento arquitetural do sistema radicular da soja sobre a influência de P.

Uma vez obtida a foto, um registro visual das características arquiteturais de uma raiz, na tentativa de interpretá-la logicamente, a analogia do "caminhamento", como uma metodologia até então não concebida, se firmou de grande facilidade interpretativa (Teixeira et al., 1997).

Segue o exemplo (Tabela 1) de uma dessas tabelas denominadas 'mapas radiculares', que registram, cada uma, um sistema radicular de soja em posicionamento relativo ao estado de desenvolvimento espaço-temporal.

Foram escavados sistemas radiculares em coletadas de três em três dias, marcando o intervalo de três dias após a emergência até quarenta e cinco dias após a emergência da soja.

Através de uma descrição completa, e modulada (defectiva), dos eixos radiculares, e podendo ser expandido 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 forneceu subsídio para inferências de grande valor, onde se obteve dados pertinentes ao constituinte de ramificações "sobreviventes" à escavação e pôde-se fazer um 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'.

Tabela 1. Mapa descritivo do sistema radicular (uma aproximação estática da arquitetura radicular).

SISTEMA RADICULAR MAPA DESCRITIVO											
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
							° a		cm		
2.ária	1	-60	° a	1	cm	30	° a	2,2	cm		
						-25	° a	10	cm	23,3	cm
						-30	° a	17,7	cm		
	2	65	° a	1	cm	-35	° a	11,1	cm		
							° a		cm	15,5	cm
							° a		cm		
	3	65	° a	1,7	cm	-35	° a	1	cm		
						35	° a	5,5	cm	14,5	cm
						-35	° a	12,2	cm		
	4	-60	° a	2,2	cm	-50	° a	4,4	cm		
							° a		cm	12,2	cm
							° a		cm		
	5	50	° a	2,2	cm	-40	° a	5,5	cm		
							° a		cm	22,2	cm
							° a		cm		
	6	50	° a	3,3	cm	-40	° a	5,5	cm		
							° a		cm	10	cm
							° a		cm		
	7	-40	° a	3,3	cm		° a		cm		
							° a		cm	17,8	cm
							° a		cm		
	8	40	° a	5	cm	-40	° a	2,2	cm		
							° a		cm	7,8	cm
							° a		cm		
	9	-40	° a	6,1	cm	50	° a	5,5	cm		
						-40	° a	7,8	cm	13,3	cm
							° a		cm		

Obteve-se a Tabela 2 e as figuras (Figura 1, Figura 2, Figura 3, Figura 4 e Figura 5) a seguir, como extensão do estudo de mapas radiculares visando-se

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

Tabela 2. Medidas extraídas de indivíduos em diferentes épocas de desenvolvimento em solo com fertilidade homogênea.

Épocas	6 dias	9 dias	12 dias	15 dias	18 dias	21 dias	24 dias	27 dias	30 dias	45 dias	6_45 dias
Distância entre Ramificações (média, cm)	0,57	0,80	0,61	0,76	0,92	0,81	1,02	1,33	1,11	1,38	
Gradiente de distribuição de eixos por quadrante		0	-1	2	-2	2	1	-1	1	-3	1
Comprimento médio do eixo de ordem 0 (cm)	4,01	12,64	12,40	11,32	13,72	11,05	15,35	16,92	15,73	16,75	
Comprimento do maior eixo de ordem 1 (cm)	2,60	9,10	10,41	12,12	12,03	11,80	16,50	17,02	19,63	26,25	

A técnica de semeadura da soja em germinadores foi suficiente para a necessidade de observações relativas ao desenvolvimento da raiz sob condição de ausência de impedimentos físicos com resistência praticamente nula e água disponível constantemente e em suficiência, notou-se: (i) rápido desenvolvimento do eixo primário da raiz; (ii) desenvolvimento simétrico dos eixos secundários; (iii) dispersão homogênea dos eixos secundários por toda a raiz primária; (iv) raízes secundárias mais desenvolvidas localizadas nos primeiros centímetros do eixo primário; e (v) raízes alongadas em menor tempo.

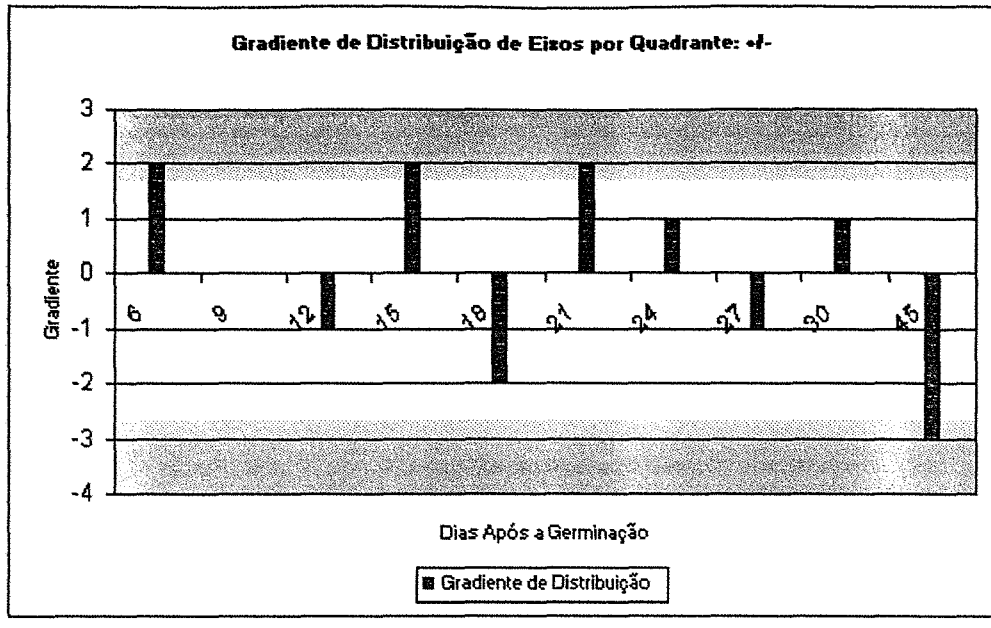

Figura 1. Acompanhamento do gradiente de distribuição de eixos durante um momento do comportamento da arquitetura radicular da soja.

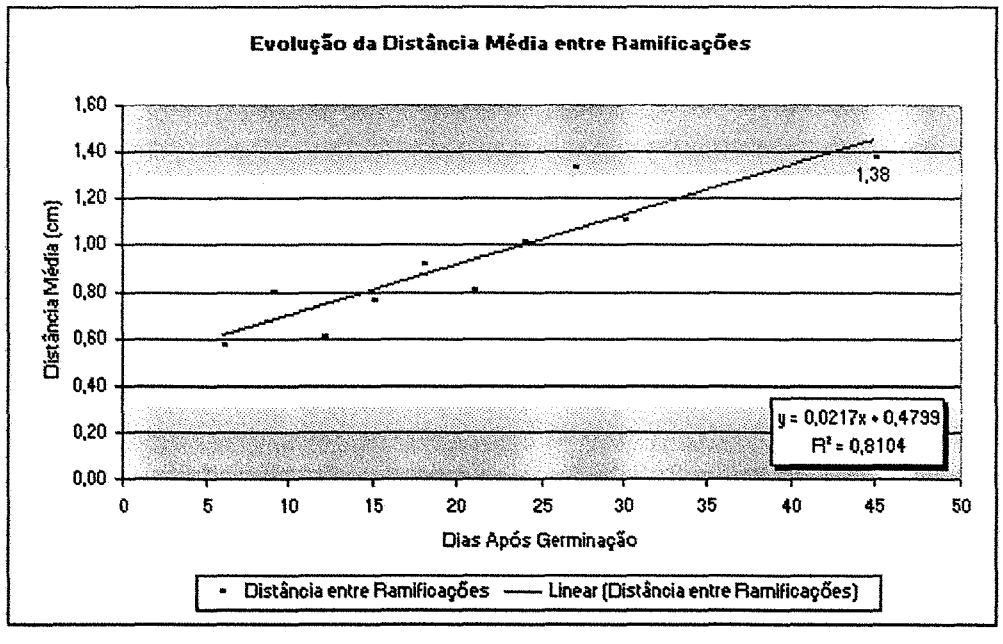

Figura 2. Evolução da distância média entre ramificações num ambiente com pouco P.

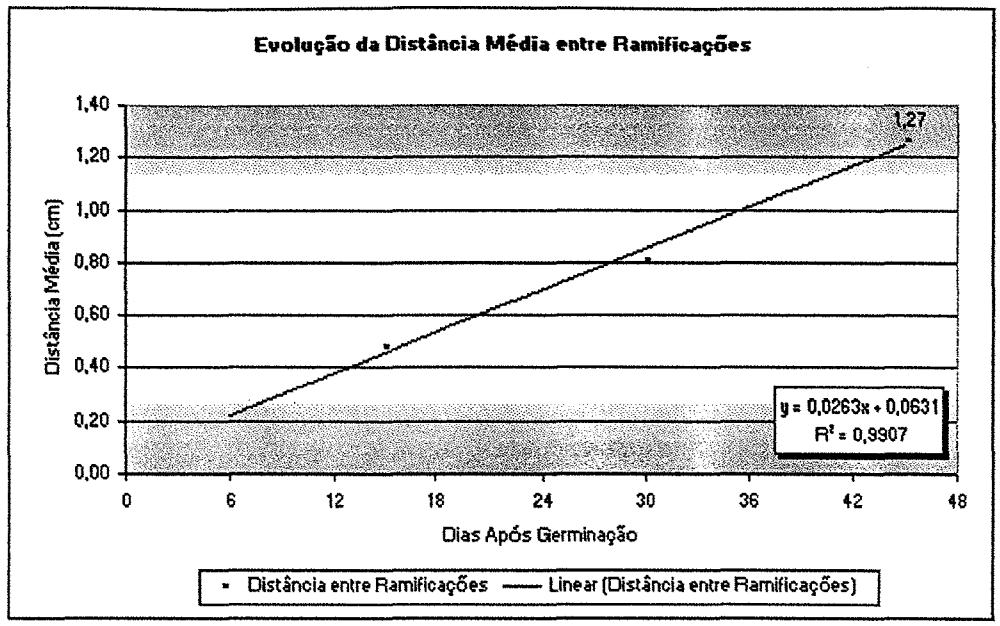

Figura 3. Evolução da distância média entre ramificações num mesmo ambiente com mais P.

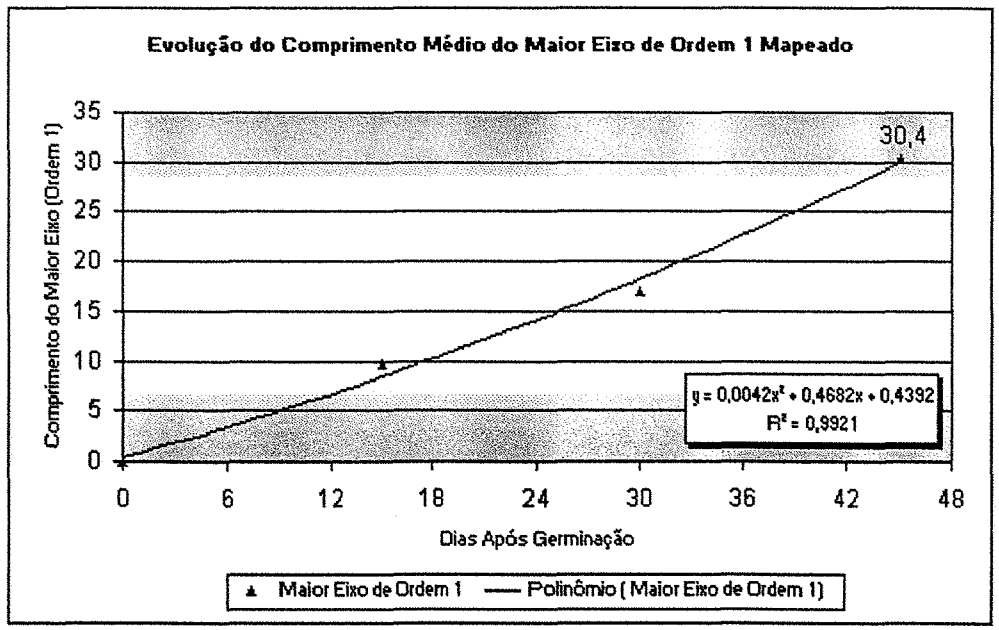

Figura 4. Evolução do comprimento médio do maior eixo de ordem 1, mapeado num ambiente com pouco P.

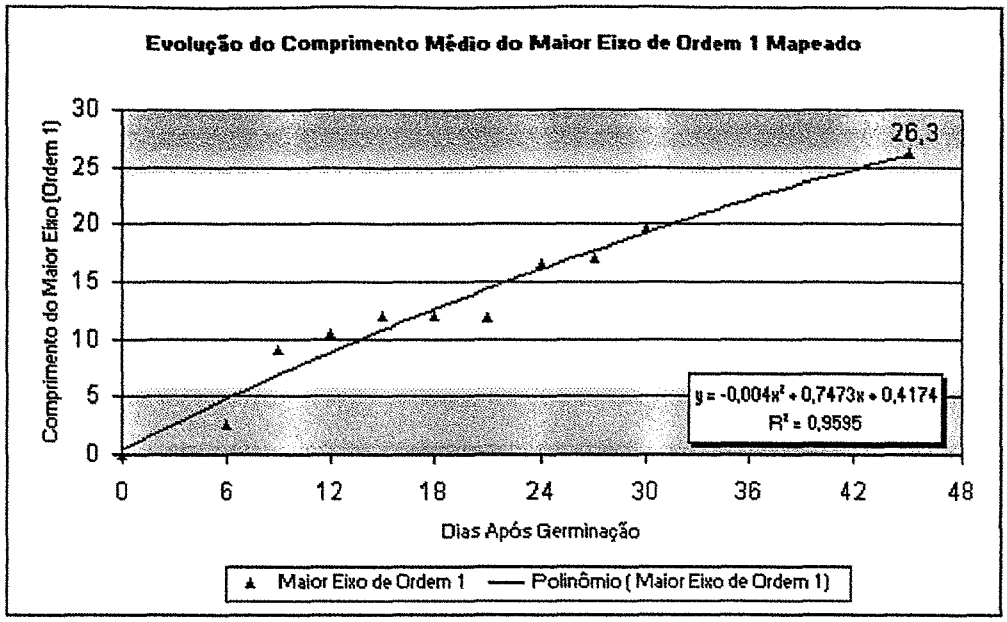

Figura 5. Evolução do comprimento médio do maior eixo de ordem 1, mapeado num ambiente com ~~pouco~~ P.

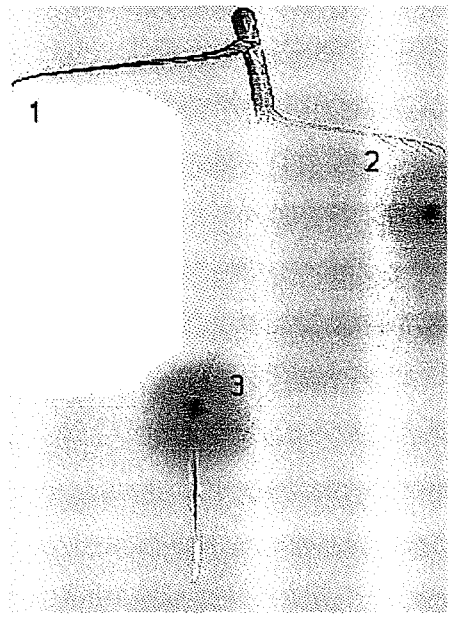

Figura 6. Infografia representativa de uma raiz no espaço tridimensional e sua reação diferencial.

Pôde-se compreender que um sistema radicular explora meios distintos, com reações de características diferenciais, apresentadas na Figura 6: (1) desenvolvimento em meio com fertilidade homogênea; (2) desenvolvimento em meio com fertilidade crescente; (3) desenvolvimento em meio com resistência física à penetração.

IV.1 Um novo paradigma a ser compreendido

Por muito tempo a cognição humana, ou seja, o processo de conhecer, idealizado por intermináveis investidas científicas em tentativas de trazer à luz respostas e soluções para saciar a nossa ancestral curiosidade e também ancestrais necessidades adaptativas, tem dado à nossa espécie, através da criação e evolução de nossos conceitos, maiores chances de nos tornar longevos.

Através do estabelecimento de rápidas redes para a troca de informações bem como de estruturas cada vez mais confiáveis e poderosas para o processamento (computadores) e o armazenamento de nosso conhecimento ("memórias"), impelimos nossa história para que nossos descendentes possam dela compartilhar com alguma riqueza de detalhes, diga-se igualmente riqueza de pormenores, e nela buscar arcabouços conceituais para continuar mantendo vivo o nosso legado.

O estímulo para novas discussões e interpretações, ao mesmo tempo mais abrangentes e mais detalhadas nos faz percorrer níveis de inter-relações que mostram-nos que, consonante ao que hoje é considerada vida, conceitualizada e defendida pelos teóricos da física contemporânea (Capra, 1996; Pasternak, 1993), não podemos escapar do conceito de teia ou rede, onde num certo sentido de detalhamento podemos exemplificar as relações existentes entre os vários tecidos que compõem um vegetal (ou nós mesmos), e num sentido mais amplo, mesmo que desconheçamos em que patamar se localiza a verdadeira proporcionalidade desta amplitude, as relações ecológicas, caminhos de energia e de matéria em várias teias alimentares,

apreendendo-se que a reciclagem dos resíduos produzidos pelos organismos, como sistemas abertos, é o próprio estabelecimento da relação entre espécies onde o ecossistema como um todo, em função dessa rede, permanece isento de resíduos.

Os vegetais desempenham um papel vital no fluxo de energia através de todos os ciclos ecológicos. Suas raízes permitem que eles extraiam água e nutrientes da terra, e nas folhas estes agentes catalíticos se envolvem em reações metabólicas, combinando-se com o dióxido de carbono retirado do ar para formar açúcares e outros compostos orgânicos, onde se incluem a celulose e a lignina, elementos estruturais das paredes das células vegetais, mantenedores da compartimentalização, que assegura a integridade das atividades metabólicas dos tecidos dos organismos vegetais.

Esse permanecer íntegro metabolicamente é a manutenção desse padrão de rede onde a função de cada componente é participar da produção ou transformação dos outros componentes da rede, e continuamente existe uma dinâmica de autocriação, ou se quisermos autopoiese.

Essa forma estável, residente em estruturas abertas ao fluxo de energia e de matéria, mas organizacionalmente fechadas, e, acima de tudo capazes de autonomamente manter a estabilidade através da auto-regulação autopoiética, compõe o processo da vida (Capra, 1996).

IV.2 Padrão e estrutura como critérios fundamentais na ótica da nova teoria dos sistemas vivos

O padrão de organização é a configuração de relações que determina as características essenciais do sistema, onde a incorporação física do padrão de organização do sistema é o seu próprio comportamento, sendo que a atividade envolvida na incorporação contínua do padrão de organização do sistema é denominada de processo vital.

Portanto, no comportamento arquitetural de sistemas radiculares, o conceito de ambiente revela-se de especial importância. Onde podemos

caracterizar o ambiente, num sentido mais profundo, como a própria pressão sensorial (Pimenta, 1999).

Então o solo e seus componentes físico-químicos, água e arquitetura radicular são um todo indivisível, onde sua integridade estrutural é garantida unicamente num exercício de raciocínio.

Para essa nova teoria emergente dos sistemas vivos, a incorporação contínua de um padrão de organização autopoiético, numa estrutura aberta ao fluxo de energia e de matéria é identificado com a cognição, o processo do conhecer. Radicalmente essa identificação implica numa nova concepção de mente e funde a dualidade cartesiana entre mente e matéria.

Capra (1996) cita que recentemente, em 1994, numa antologia intitulada *Consciousness in philosophy and cognitive neuroscience*, seus editores afirmaram enfaticamente em sua introdução: "Mesmo que haja concordância universal que a mente tem algo a ver com o cérebro, ainda não existe um acordo geral quanto à natureza exata da relação entre ambos".

Neste ponto percebemos relações vivas além do conceito reducionista clássico de organismo, mas este como parte de um todo, um pormenor dentro de uma intrincada estrutura organizacional, assegura o seu padrão para a regulação e o equilíbrio do processo de vida da Terra.

Sendo a atividade organizadora dos sistemas vivos em todos os níveis da vida um processo mental, vida e cognição estão juntas como conseqüência inevitável de uma certa complexidade que teve início muito antes dos organismos desenvolverem cérebros e sistemas nervosos superiores. O computadores modelam e sustentam este argumento.

IV.3 Computadores, memórias e redes: a memória dentro do processo mental sob uma analogia computacional

Computadores são estruturas físicas estáveis (não auto-poiéticas) criadas pelo homem, que com a possibilidade de suprimento energético constante, e apenas assim, executam rotinas pré-estabelecidas (programas) e

memorização, artificialmente. São uma simplificação da mente humana, tão simplesmente desprovida de processos cognitivos autônomos, que são incapazes de adquirir conhecimento através de esforço próprio, e antes disso, incapazes de manterem fluxo constante de energia através de si próprio naturalmente.

Sobre os processos físicos de memorização artificial dos computadores (palavra derivada do latim *computare,* ou seja, pensar, verbo ainda que muito precariamente associado ao processo dessas mentes artificiais) temos reconhecido em unanimidade as memórias estáticas de acesso físico (discos de leitura magnética ou óptica) e as memórias voláteis de acesso aleatório (RAM - Memória de Acesso Randômico) cuja estruturação é dependente do fluxo de eletricidade para ambos sistemas, mas na memória física, por exemplo, num disco rígido de qualquer computador, podemos compartilhar de estruturas já programadas e inserirmos novos trabalhos, através do rearranjo espacial dos pulsos, provenientes da memória volátil (aquela que possibilita a manutenção da imagem e cálculos, durante a execução de um programa), em partículas de óxidos que são estaticamente estruturadas através de cabeçotes de gravação, para posterior leitura magnética do disco, em códigos de lógica binária, reconhecíveis na linguagem computacional.

Observando os processos mentais artificiais desempenhados por um computador, percebemos que existe uma estreita interdependência entre a memória física estática e a memória volátil para que haja acúmulo contínuo de novas informações. Mas a integridade deste sistema acumulativo de informações depende mais dessas estruturas pré-definidas e capazes de manterem sua estruturação contínua e intermitente no tempo (e o que sempre desejamos e cada vez mais buscamos é que nossas memórias não se tornem resíduos e "elos perdidos" com o passar do tempo) do que propriamente de estruturas de memória de curta duração que, como citado anteriormente, são voláteis, entretanto sob uma ótica global, imprescindíveis para o funcionamento do sistema.

Tais estruturas de memória de longa duração (discos magnéticos ou ópticos) e de acesso intermitente, têm sua funcionalidade dependente da qualidade do material utilizado (óxido), do tamanho das partículas desse óxido, pois quanto menores, melhor a reação ao campo magnético do cabeçote de gravação e leitura para que sejam organizadas, quantidades dessas partículas expostas na superfície do disco (densidade), pois maiores densidades asseguram maiores cargas de informação.

A funcionalidade destas mentes artificiais, aliada a estudos de semicondutância, onde se desenvolvem materiais capazes de reagirem com estabilidade estrutural à velocidade de acesso e ciclagem de pulsos, operando, ainda, com pequeno fluxo de elétrons (baixa amperagem) e sob baixa voltagem, portanto economicamente, são os aspectos responsáveis pela possibilidade de miniaturização dos circuitos integrados e perfazem a nossa seguridade informática, sustentando o tráfego e o armazenamento de informação em rede de alcance global (*internet*), nascida a partir da coalizão aleatória de núcleos computacionais (Figura 7).

Todo esse processo, por mais aprimoramentos que possa sofrer, depende indiscutivelmente de eletricidade para garantia de sua forma e de sua evolução e, se pensarmos em logo prazo, que indústria garante indeterminadamente a durabilidade das mídias, esses meios onde se grava a informação?

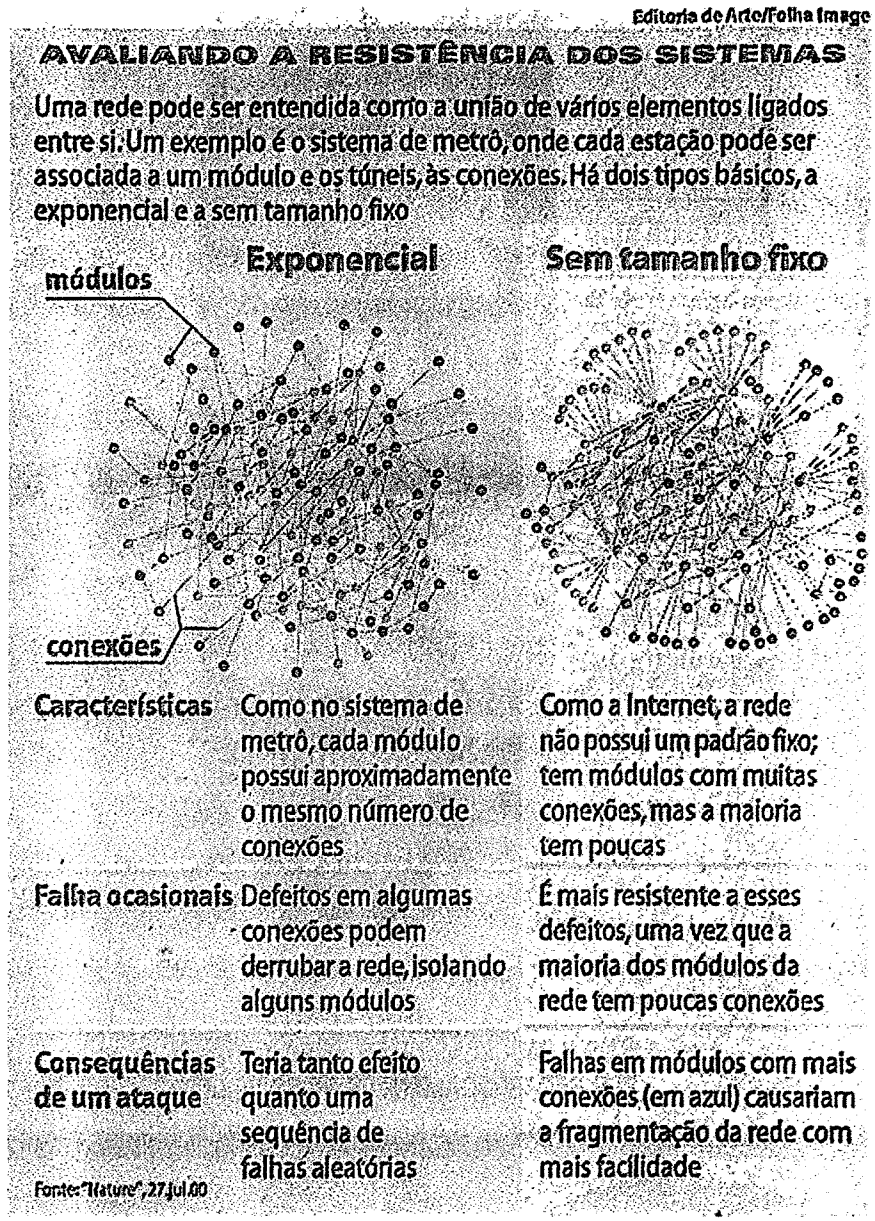

Figura 7. Redes e conectividade. A vulnerabilidade dos padrões fixos.

As rotinas dos computadores, como modelos de processos mentais não vivos, mostram-nos que são extremamente difíceis e caros os nossos esforços para a garantia da estrutura de memória no tempo, ou seja, sua manutenção.

Hoje é certo e difundido que toda informação deve ser revisada e recuperada constantemente, porque nossa memória informática é instável, ou no contexto dos sistemas dinâmicos, uma "condição" sujeita a instabilidades.

IV.4 A memória genética e memória cognitiva de um sistema radicular numa escala de tempo linear, evidenciando suas implicações no comportamento arquitetural

Proponho que entendamos o processo de conhecimento de um 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), infiro que estaremos então diante da complexidade básica de uma estrutura radicular (PAb), um "todo" inicial, característico da memória genética dos vegetais superiores (Figura 8).

A memória cognitiva é a própria estruturação dinâmica da arquitetura radicular (sujeita às instabilidades do acaso), sendo volátil numa escala de tempo perene (R), ou num pormenor temporal incluso durante um ciclo anual, numa idealização da visão inicial sobre detalhes discretos da arquitetura radicular, evoluindo-se a ponto de referir-se à forma total (Figura 9).

Ainda, numa alusão direta à energia disponibilizada para os processos de comportamento arquitetural de um sistema radicular, 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.

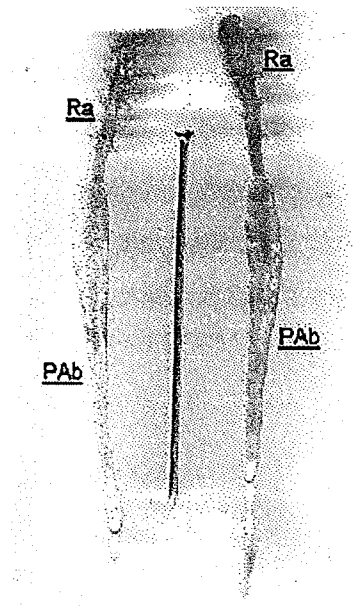

Figura 8. Raízes da planta de abacaxi, monocotiledônea da família das bromélias (crescimento inicial em água destilada).

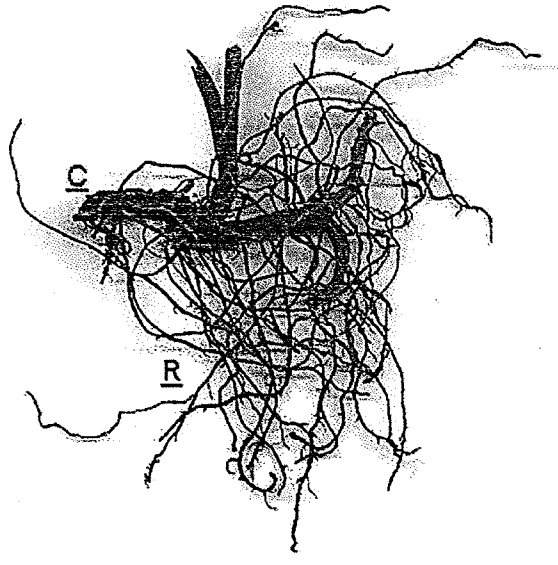

Figura 9. Rizoma (C) de samambaia e o resíduo arquitetural da memória cognitiva de seu sistema radicular (R).

Estamos 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 10), 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.

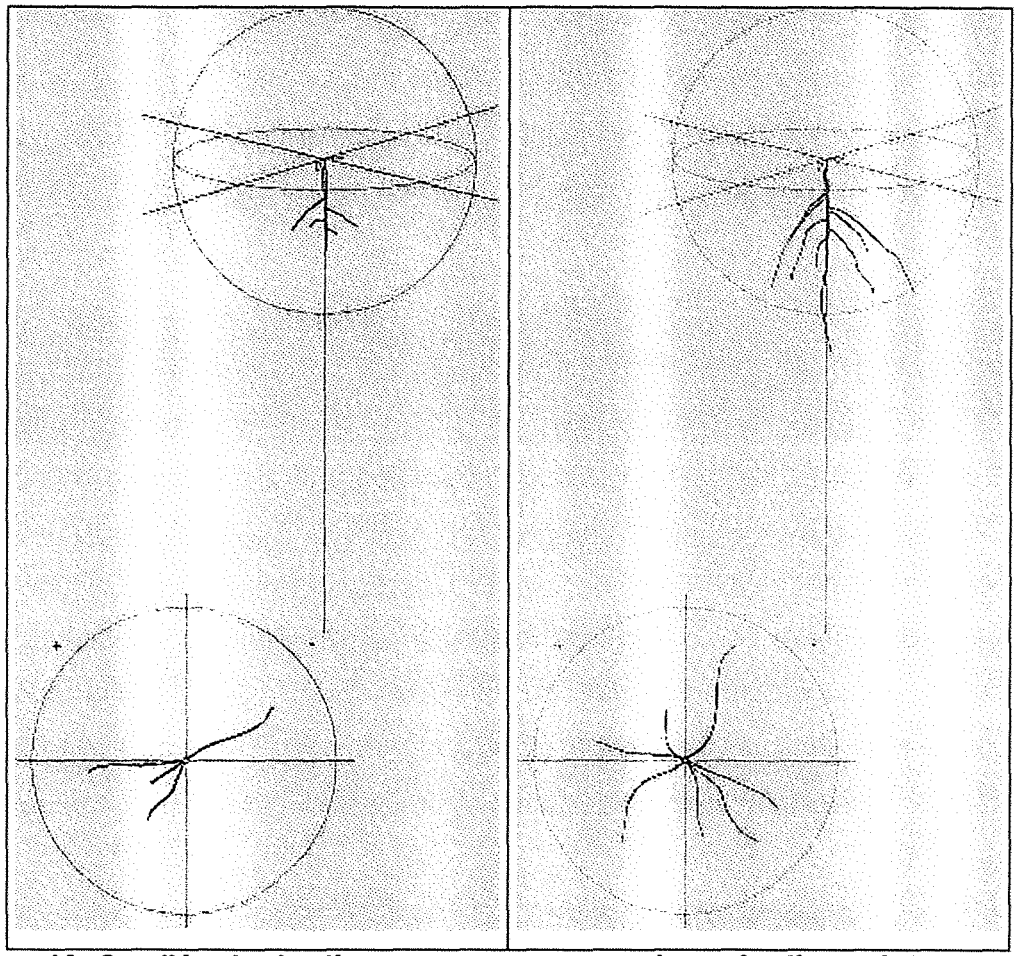

Figura 10. Seqüência de diagramas representativos da disposição espacial tridimensional de raízes de soja e sua alteração durante o desenvolvimento. Os símbolos + e – são convenção para a obtenção da idéia sobre um rastreamento diferencial do solo.

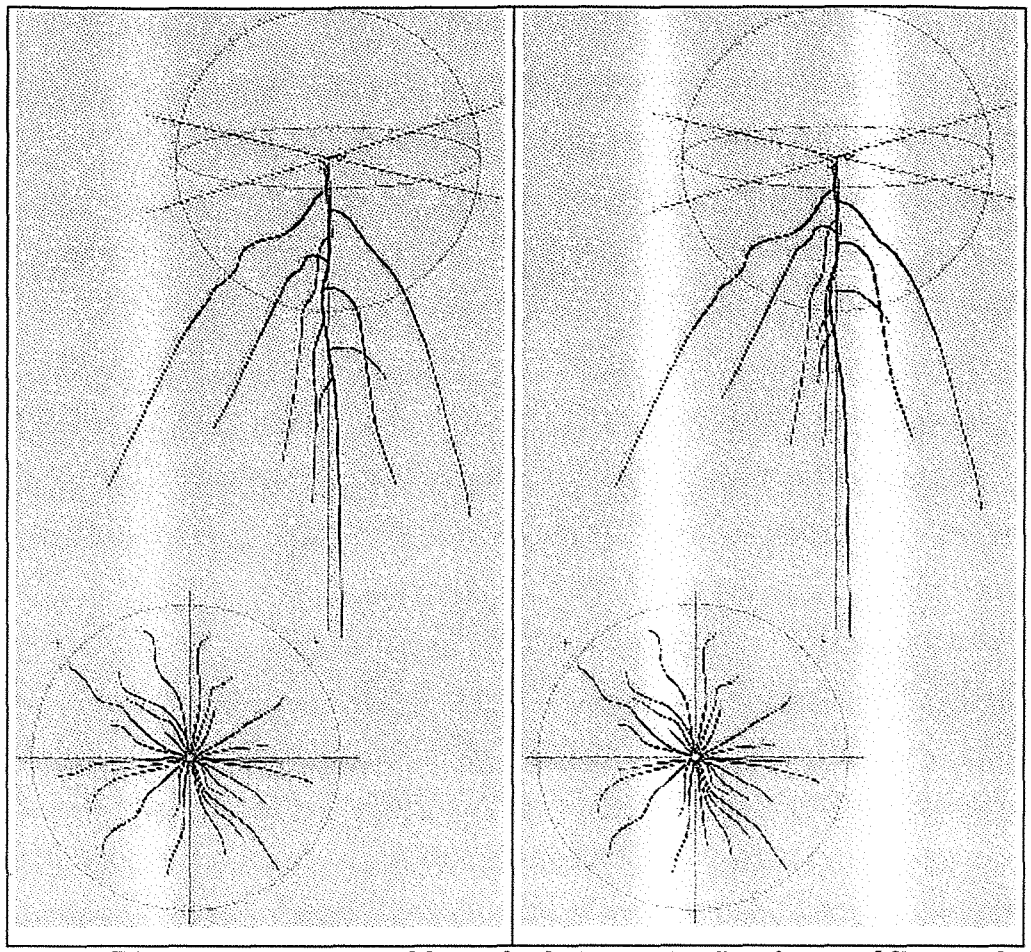

Figura 11. Diagramas construídos via interpretação dos gráficos obtidos através da análise quantitativa e do posicionamento dos eixos residuais em meios com P distribuído homogeneamente (diagrama da esquerda: pouco P; diagrama da direita: mais P).

Prestando-se atenção, isoladamente, em uma espécie de sistema vivo, o homem, por exemplo, e entendendo-se que seu DNA é a sua memória genética, que evoluiu cognitivamente com o tempo através de rearranjos imprevisíveis em suas bases, possibilitando sua adaptação, garantindo sua integridade sistêmica, e que os 6,5 bilhões de representantes de sua espécie lutam para manterem-se vivos e, de preferência, limpos, saudáveis e por longo tempo, concluiremos a respeito da dimensão do nosso consumo energético para garantir a manutenção da nossa memória genética, onde variações

aleatórias discretas dentro desta memória produzem a continuidade da sua variação, produzindo-se variabilidade entre as formas "homens" (sem que o padrão da espécie *Homo sapiens* se desfigure) no espaço e no tempo o que ocorre com qualquer sistema vivo, em proporções relativas.

Portanto a mente como a vida, é um processo, e a memória é uma condição. A instabilidade dessa condição perdura infinitésima fração de sua estruturação no campo da imprevisibilidade onde a quântica, sustentada por poderosas teorias como a Relatividade, o Caos (a ordem através da desordem) e englobando novas ferramentas como a matemática da complexidade e análises fractais tenta explicar tais questões.

Sendo assim, em sistemas vivos, a imprevisibilidade é o caminho para a possibilidade de evolução contínua.

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

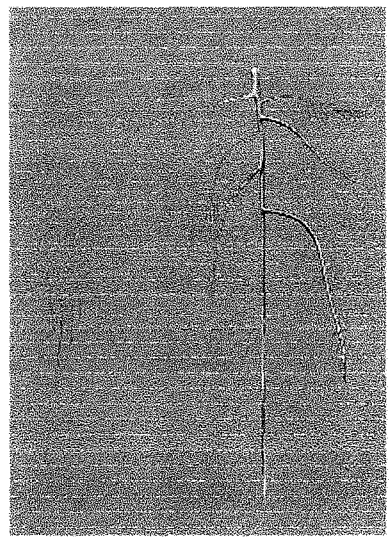

Figura 12. Infografia representativa da evolução da arquitetura radicular sob 'pressão sensorial' diferencial, no tempo e no espaço em domínio.

Os termos dessimetria espaço-temporal e pressão sensorial serão mais bem apresentados adiante.

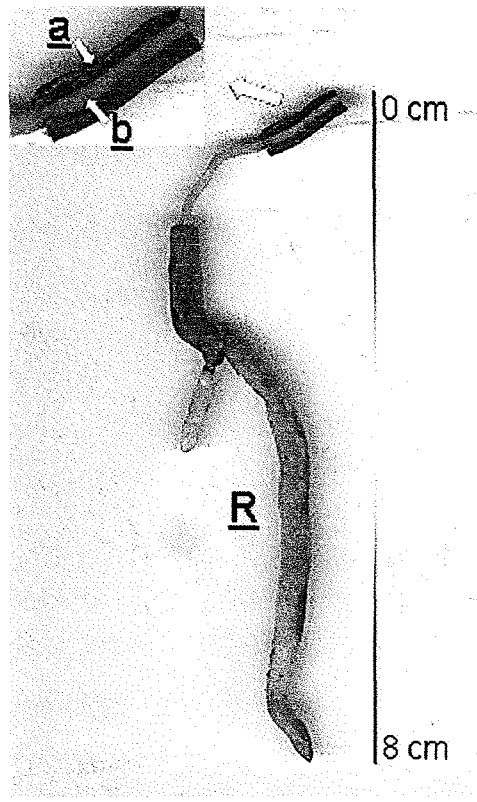

Figura 13. Dissecação da estrutura radicular (R) de *Oncidium sphacelatum* (família das orquídeas): (b) é a epiderme, e a sua excessiva estratificação (a) é o velame, associado à proteção e à absorção da água, mesmo que diretamente do ar.

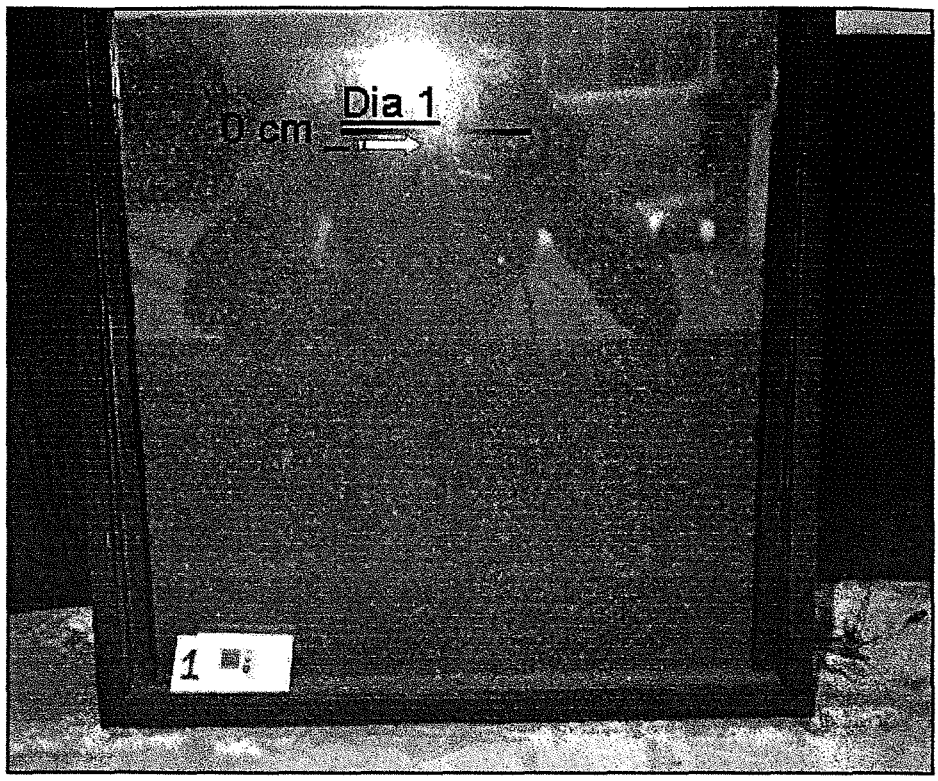

Figura 14. Fotografia do início do acompanhamento da evolução espaço-temporal do comportamento (leia-se também estruturação) da arquitetura de um sistema radicular de milho (monocotiledônea), sob um pormenor visual.

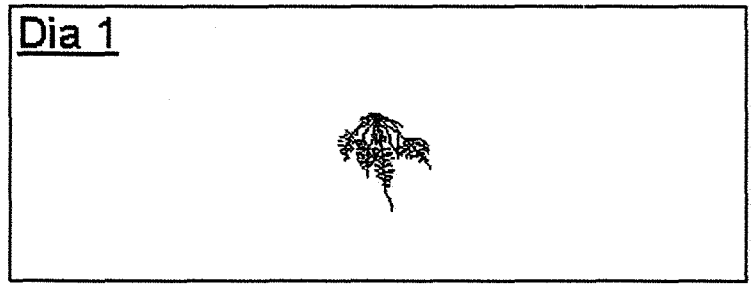

Figura 15. Desenho esquemático da dimensão estrutural integral da arquitetura de um sistema radicular de milho (primeiro momento). Simulação estática de sua memória cognitiva.

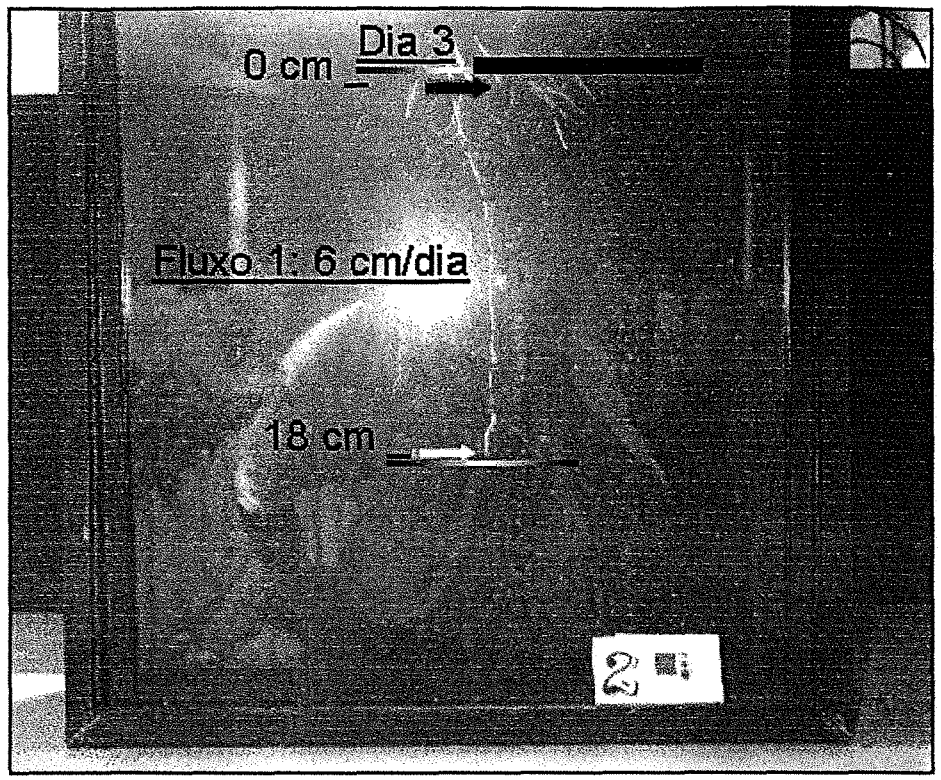

Figura 16. Fotografia do segundo momento do acompanhamento da evolução espaço-temporal do comportamento (leia-se também estruturação) da arquitetura de um sistema radicular de milho (monocotiledônea), sob um pormenor visual.

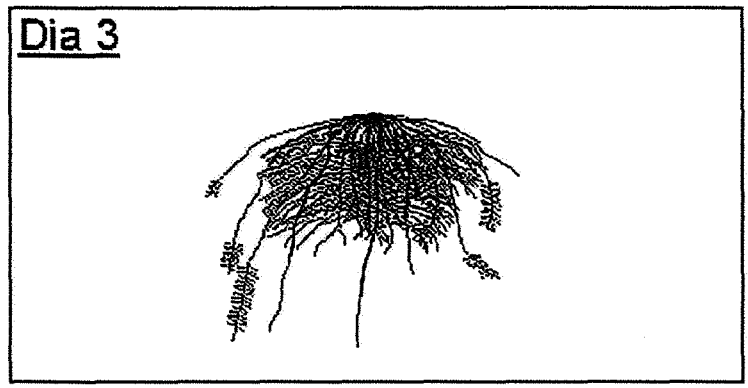

Figura 17. Desenho esquemático da dimensão estrutural integral da arquitetura de um sistema radicular de milho (segundo momento). Simulação estática de sua memória cognitiva.

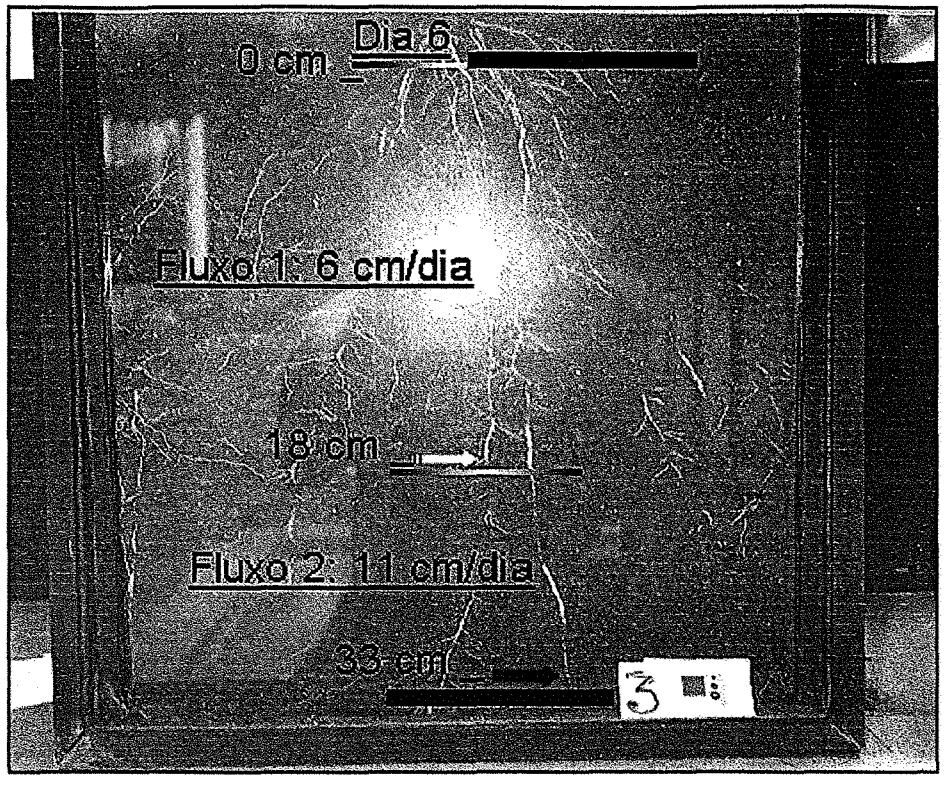

Figura 18. Fotografia do terceiro momento do acompanhamento da evolução espaço-temporal do comportamento (leia-se também estruturação) da arquitetura de um sistema radicular de milho (monocotiledônea), sob um pormenor visual.

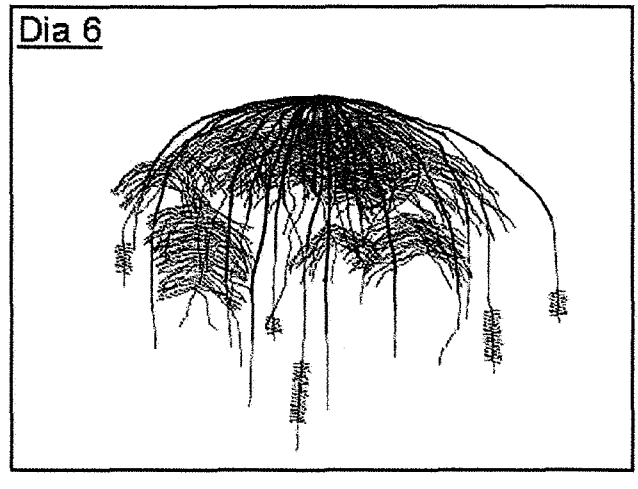

Figura 19. Desenho esquemático da dimensão estrutural integral da arquitetura de um sistema radicular de milho (terceiro momento). Simulação estática de sua memória cognitiva.

IV.5 Geometria fractal

Estudada e categorizada entre as décadas de 60 e 70 por Benoit Mandelbrot.

Mandelbrot começou a estudar a geometria de uma ampla variedade de fenômenos naturais irregulares, e na década de 60 ele compreendeu que todas essas formas geométricas tinham algumas características comuns bastante notáveis. Ele dizia: "A maior parte da natureza é muito, muito complicada. Como se poderia descrever uma nuvem? Uma nuvem não é uma esfera. ... É como uma bola, porém muito irregular. Uma montanha? Uma montanha não é um cone. ... Se você quer falar de nuvens, de montanhas, de rios, de relâmpagos, a linguagem geométrica aprendida na escola é inadequada".

Então foi criada a geometria fractal, cuja principal propriedade é a característica de auto-similaridade, à ser simplificada quando arrancamos um pedaço de uma couve-flor e percebemos que, por si mesmo, este pedaço se parece com ela.

Benoit Mandelbrot exemplifica este fenômeno ao nível dimensional, argumentando que se tomarmos "um novelo com dez centímetros de diâmetro, feito com um fio com um milímetro de diâmetro, ele terá dimensões efetivas distintas. Se se usar 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 novelo 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 para de variar"! (Pimenta, 1999).

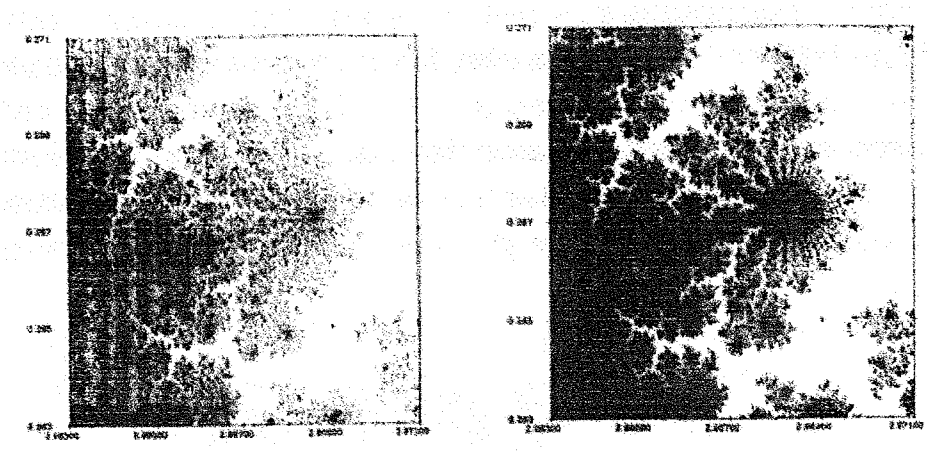

Figura 20. Primeira e segunda imagens fractais, de um pormenor, do Conjunto Mandelbrot.

A forma do todo é semelhante em si mesma em todos os níveis de escala que compõem sua integridade complexa.

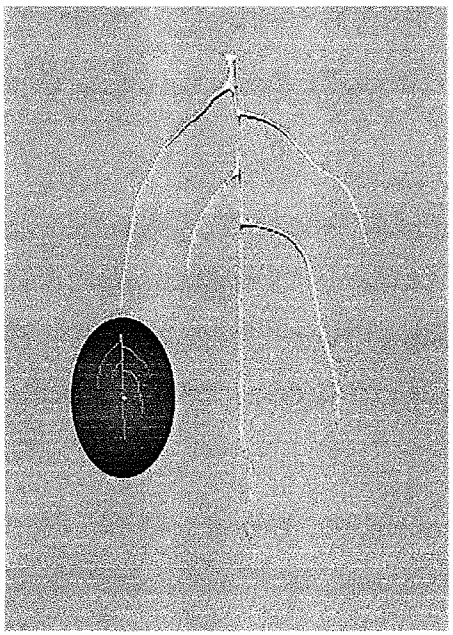

Figura 21. Infografia representativa do desdobramento fractal natural, comportamento típico do processo cognitivo de um sistema radicular durante o rastreamento do solo em domínio.

Sendo assim, a nova matemática da complexidade é essencialmente uma matemática de padrões visuais (Capra, 1996).

Os fractais forjam estes padrões por um simples processo iterativo, ou seja, a 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), a fractal fixa (há constância da 'substância', porém há um aumento do seu nível de complexidade). Também se podem forjar iterações mistas.

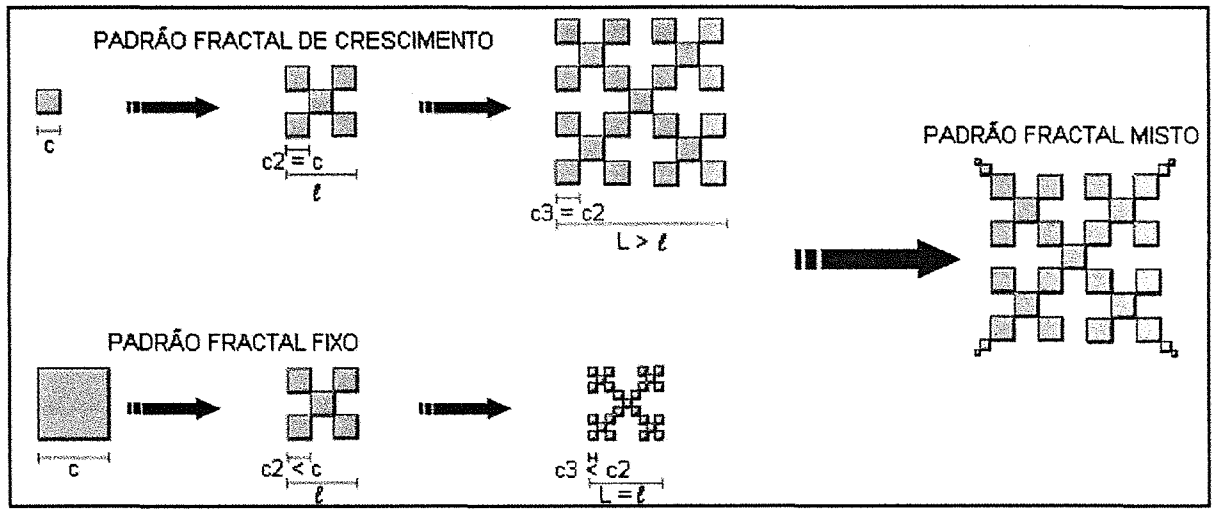

Figura 22. Diagrama de 'pastilhas', elucidativo dos padrões de desdobramento fractal, onde 'c' representa a evolução do nível de complexidade para cada padrão a partir de um pormenor e 'ℓ'e 'L' representam a 'substância' final.

Kuo Hsi, mestre chinês da arte da pintura, escrevia por volta do ano de 1050 que ao longe, uma montanha não tem dobras, a água distante não tem ondas e o ser humano não tem "olhos". Se atentarmos a esta observação, teremos como evidente a idéia de que a passagem entre unidades discretas, na percepção é um *continuum*, uma ilusão dimensional.

IV.6 Simetria, assimetria, dessimetria

Ao contrário do que imaginamos, os estados de assimetria e dessimetria representam um padrão *continuum*, enquanto que 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.

A simetria é estática, discreta, extremamente frágil e, devido a isso, é evitada pela antiga cultura nipônica.

Acrescentando-se qualquer elemento a um sistema assimétrico, ele continuará em equilíbrio. Modifique-se um mínimo detalhe fora do eixo de um campo simétrico e ele entrará imediatamente em "turbulência", ou seja, dessimetria sob a ótica do *continuum* e assimetria, sob a ótica estática.

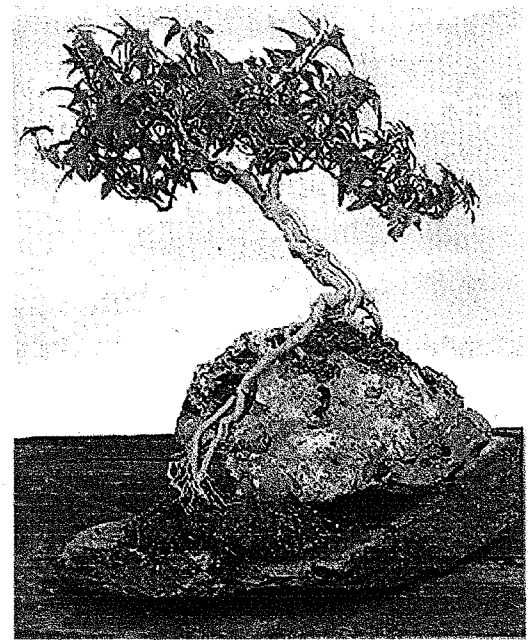

Figura 23. O continuísmo dessimétrico do bonsai faz com que os olhos não parem de rastreá-lo.

A cultura Zen criou um ritual de compreensão da forma e da sua dinâmica arquitetural, onde através do cultivo de bonsai perpetua-se o ideal de

'memória' e busca-se conhecer a longevidade através da sua constante reestruturação.

Na arte bonsai, quando as raízes e parte aérea da árvore entram em tendência turbulenta, ou seja, alcançam pormenorizações capazes de perfazerem uma simetria na estrutura do espaço tridimensional, está na hora de podar a planta, para que se garanta seu processo dessimétrico, em outras palavras, a manutenção da pormenorização de suas estruturas. Talvez isso deva explicar o porquê das arvorezinhas perdurarem no tempo, com exemplares de mais de 1500 anos.

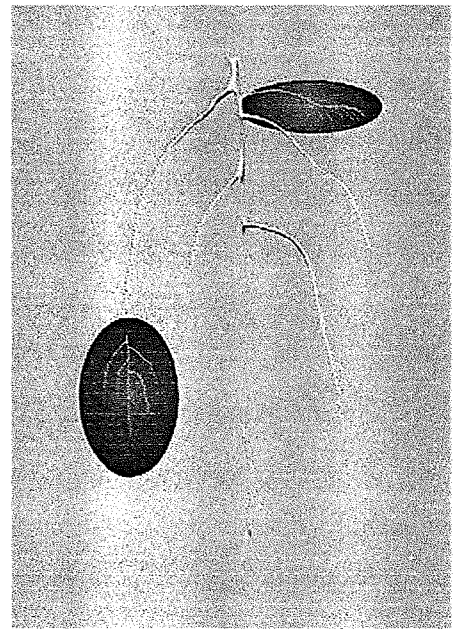

Figura 24. Infografia representativa do processo de pormenorização num comportamento fractal natural.

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

IV.7 Considerações finais

O velame, estratégia das orquídeas para a garantia de umidade e absorção de nutrientes, além de proteger a sua arquitetura contra choques mecânicos, através do acúmulo, em grossa camada, de células epidérmicas mortas nas raízes, pareceu-me a estrutura mais interessante a ser observada, onde nessa contextualização de arquitetura radicular, e seu estudo através do estabelecimento do conceito de memória cognitiva, estamos diante de um grupo detentor de uma característica única de resíduo arquitetural, uma estruturação onde o pormenor, ou seja a complexidade básica é aquela prontamente visualizada.

Não poderemos compreender a integridade estrutural de um sistema radicular e a sua dinâmica de comportamento no solo, através 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.

Sustento que para que isso não seja um problema a um sistema radicular bem definido em plantas perenes, deverá sempre estar coexistindo o binômio fractal às custas de muita energia gasta em estruturações monumentais quanto ao tamanho e dinâmica de comportamento.

Este equilíbrio dinâmico da arquitetura radicular pode ser a chave para o estudo da longevidade e da estruturação de grande quantidade de matéria, no tempo e espaço em sistemas clímax de alta concentração energética, como a floresta tropical.

O milho, como planta C4, possui grande necessidade de P durante o seu ciclo vegetativo, mantendo fluxos de binômio fractal contínuos (dessimetria espaço-temporal contínua durante o ciclo, com varreduras e desdobramentos) no espaço e no tempo, portanto, embora possua uma memória genética bastante estruturada, sua cognição é pouco desenvolvida.

Tais plantas derrubam estruturas aéreas, como perfilhos á superfície do solo, ou desenvolvem caules rizomatosos e ou estolões para, instintivamente perdurarem no tempo (longevidade), como os bambus, produzindo um processo de enredamento contínuo sem padrão fixo, que lhe garante baixa vulnerabilidade e garantia perdurada de domínio do espaço através de uma dessimetria alternativa, ganhando continuidade.

A semente de orquídea, em seus momentos iniciais de germinação, perfaz simbiose com o fungo *rizoctonia* sp. que possibilita sua nutrição, pois são praticamente isentas de endosperma e, por mais, microscópicas. Uma vez que esse relacionamento seja algo breve, dentro da longevidade alcançada por um organismo adulto, a orquídea, desenvolveu em memória genética sustentáculo para a sua cognição diferenciada. Acredito que o velame proteja uma estrutura que é parte de um todo complexo onde o P esteja em constante reutilização (poucas perdas) através da exaustão das reservas celulares de células epidérmicas de estruturação cognitiva especialmente diferenciada para possibilitar relação com o meio aéreo, sem gastos excessivos e com controle de energia adicional (metabolismo ácido de crassuláceas - CAM), possibilitando a manutenção da cognição em desdobramentos de crescimento, até que sua dessimetria estabeleça resultados cognitivos que estimulem à pormenorizações discretas, também de crescimento. Concluo que este seja o grau máximo de autonomia que um organismo vegetal superior tenha estabelecido contra a pressão sensorial do solo, o suficiente para torná-lo quase que independente do conjunto de determinantes da arquitetura radicular e dissipá-la por todo o globo.

V CONCLUSÕES

Conclui-se que, em sistemas radiculares, a forma é uma contingência da dimensão fractal alcançada num processo cognitivo dinâmico.

Sendo assim, 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, tendendo, sob o aspecto comportamental, primariamente, à máxima efetivação temporal (memória genética) de estruturas pormenorizadas (ou seja, pêlos radiculares responsáveis diretos pela absorção de P), sob quaisquer potenciais hídricos, pois a germinação (memória genética) 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 e num intervalo de tempo infinitesimalmente pequeno, ocorre a fusão entre água do solo e 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.

Então, assim, percebemos que uma raiz se alonga para rastrear o P, e se desdobra em função dos nutrientes de alta mobilidade, estruturando cognitivamente mais fenômenos localizados quanto maior for o potencial hídrico do solo.

Concomitantemente, em altos potenciais hídricos, através de dessimetria espaço-temporal, garantida pela memória cognitiva (volátil), na presença de componentes estruturais produzidos, numa relação causa-efeito diretamente proporcional ao fluxo localizado de elementos nutrientes de alta mobilidade no solo e às condições gerais do metabolismo vegetal (estádio fenológico) tem, como conseqüência, variações discretas na forma atuante, responsáveis pela variabilidade de estruturas dissecadas a partir do solo.

Por essa definição o P, 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), concluindo-se sobre 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), por um maior período de tempo, onde, com regime hídrico abundante, pode-se presenciar pormenorizações duradouras.

Portanto o P em distribuição homogênea produz uma aceleração no processo contínuo de rastreamento do espaço tridimensional corporificado pelo sistema radicular, sendo que a sua memória cognitiva estabiliza o padrão fractal de crescimento, durante a manifestação de sua arquitetura, desacelerando sua dessimetria espaço-temporal.

Já, o excesso de elementos em distribuição homogênea, poderá acelerar a dessimetria espaço-temporal, sendo que a memória cognitiva estabiliza o desdobramento fractal fixo, isto acarretará em 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 (se os elementos estão em excesso isso não ocorre) 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, de varreduras e desdobramentos no espaço e no tempo, portanto, possui uma memória genética bastante estruturada para garantia de sua memória cognitiva mais desenvolvida.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANGHINONI, I.; BARBER, S. A. Phosphorus application rate and distribution in the soil and phosphorus uptake by corn. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, Madison, v.44, p.1041-4, 1980.

BÖHM, W. Methods of studying root systems. Ecological Studies, Vol. 33. Springer Verlag, Berlin, 1979. 188p.

BORKERT, C. M.; BARBER, S. A. Soybean shoot and root growth and phosphorus concentration as affected by phosphorus placement. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, Madison, v.49, p.52-155, 1985.

BRAY, R. H. A nutrient mobility concept of soil-plant relationships. **Soil Science**, Baltimore, v.78, p.9-22, 1954.

CAMPBELL, B. D.; GRIME, J. P. A comparative study of plant responsiveness to the duration of episodes of mineral nutrient enrichment. **New Phytologist**, v.112, p.261-267, 1989.

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. Eficiência na absorção e disponibilidade de fósforo pelo milho em relação ao método de aplicação do fertilizante ao solo. **Agron. Sulriogr.**, Porto Alegre, v.19, p.43-55, 1983.

CASTILHOS, D. D.; ANGHINONI, I. Influência do suprimento de fósforo a diferentes frações do sistema radicular sobre o comportamento do milho. **R. Bras. Ci. Solo**, Campinas, v.12, p.263-67, 1988.

CHAPIN, F. S. III The mineral nutrition for wild plants. **Annu. Rev. Ecol. Sist.** v.11; p.233-260, 1980.

CHRISTIE, E. K.; MOORBY, J. Physiological responses of semiarid grasses. In. The influence of phosphorus supply on growth and phosphorus absorption. **Aust. J. Agric. Res.** v.26, p.423-436, 1975.

CLAUSTNITZER, V.; HOPMANS, J. W. An algorithm for tree dimensional, simultaneous modeling of root and transient soil water flow (version 1.0). Davis, LAWR/UCDAVIS, 1993. 108p.

CRICK, J.C.; GRIME, J.P. Morphological plasticity and mineral nutrient capture in two herbaceous species of contrasted ecology. **New Phytologist** v.107, p.403-414, 1987.

CROWTHER, J. (ed.) Oxford Advanced Learner's Dictionary of Current English. Oxford University Press, Oxford, 1995 (5th ed.). 1430p.

DIGGLE, A. J. ROOTMAP: a model in three-dimensional coordinates of the growth and structure of fibrous root systems. **Plant and Soil,** v.105, p.169-78, 1988.

FONTES, P. C. R. Distribuição de fósforo no solo afetando o desenvolvimento e absorção de fósforo pelo tomateiro. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v.22, p.367-72, 1987.

HACKETT, C.; ROSE, D. A. A model of the extension and branching of a seminal root of barley, and its use in studying relations between root dimensions. 1. The model. **Australian Journal of Biological Sciences,** v. 25, p.669-79, 1972.

JACKSON, R. B.; MANWARING, J. H.; CALDEWLL, M. M. Rapid physiological adjustment of roots to localized soil enrichment. **Nature**, v.344, n. 6261, p.58-60, 1990.

LARIGAUDERIE, A.; RICHARDS, J. H. Root proliferation characteristics of seven perennial arid-land grasses in nutrient-enriched microsites. **Oecologia** v.99, p.102-111, 1994.

LUNGLEY, D. R. The growth of root systems – a numerical computer simulation model. **Plant and Soil,** v.38, p.145-59, 1973.

LUXMOORE, R. J.; STOLZY, L. H. Modeling below ground processes of roots, the rhizosphere, and soil communities. In: WISIOL, K., HESKETH, J.D. Plant growth modeling for resource management. Vol II – Quantifying Plant processes, CRC Press, Boca Raton, 1987. p.129-153.

MACHADO, R. P.; NOVAIS, R. F.; BORGES, A. C.; SEDIYAMA, C. S. Efeito da localização de doses de fósforo, em relação ao sistema radicular, sobre o comportamento da soja, com a utilização da técnica de raízes subdivididas. **Rev. Ceres**, Viçosa, v.30, p.308-318, 1983.

McCLAUGHERTY, 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}P) uptake from soil. **Plant and Soil,** v.198, p.147-152, 1998.

NOVAIS, R. F.; FERREIRA, R. P.; NEVES, J. C. L.; BARROS, N. F. Absorção de fósforo e crescimento do milho com sistema radicular parcialmente exposto a fonte de fósforo. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v.20, p.749-54, 1985.

NYE, P.H. The rate-limiting step in plant nutrient absorption from soil. **Soil Science**, v.123, p.292-297, 1977.

PAGES, L.; JORDAN, M. O.; PICARD, D. A simulation model of the tree-dimensional architecture of maize root system. **Plant and Soil,** v.119, p.147-54, 1989.

PASTERNAK, G. P. Do caos à inteligência artificial: Quando cientistas se interrogam. São Paulo: Ed. Unesp, 1993. p.35-51.

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. University Press of Virginia. 1974. p.247-70.

PEREIRA, A. R. Simulação do crescimento e da produtividade. In: VIEGAS, G. P. (ed.). **Anais** do Simpósio sobre o manejo de água na agricultura. Fundação Cargill, Campinas, 1987. 226p.

PIMENTA, E. D. M. Teleantropos: a desmaterialização da cultura material, arquitetura enquanto inteligência, a metamorfose planetária. Lisboa: Ed. Estampa, 1999. p.27-124.

PORTER, J. R.; KLEPPER, B.; BELFORD, R. K. A model (WHTROOT) which syncronizes root growth and development with shoot development for winter wheat. **Plant and Soil**, v.92, p.133-45, 1986.

PROCTER, P. (ed.) Cambridge International Dictionary of English. Cambridge University Press, Cambridge, 1995. 1774p.

RIMMINGTON, G. M.; CHARLES-EDWARDS, D. A. Mathematical descriptions of plant growth and development. In: WISIOL, K.; HESKETH, J. D. Plant growth modeling for resource management. Vol I - Current Models and Methods, CRC Press, Boca Raton, 1987. p.3-15.

ROSE, D. A. The description of the growth of root systems. **Plant and Soil**, v.75, p.405-15, 1983.

SCHUURMAN, J. J.; GOEDEWAAGEN, M. A. J. Methods for the examination of root systems and roots. Centre for agricultural publishing and documentation. Wageningen, 1971. 86p.

TEIXEIRA, E. F.; DOURADO-NETO, D.; TERUEL, D. A. Caracterização do sistema radicular na cultura de soja (*Glycine max* (L.) Merril). Relatório Técnico: USP - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Departamento de Agricultura. Piracicaba, 1997. 360p.

WADDINGTON, J. Observation of plant roots in situ. **Canadian Journal of Botany,** v.49, p.1850-2, 1971.

WEAVER, J. E.; BRUNER, W. E. Root development of vegetable crops. Nebraska, University of Nebraska, 1927. 351 p.

WEAVER, J.E.; JEAN, F.C.; CRIST, J.W. Development and activities of roots of crop plants. **Carnegie Inst. Wash. Publ., 316.** 1922.

WU, H.; CHILDRESS, W. M.; LI, Y.; SPENCE, R.D.; REN, J. An integrated simulation model for a semi-arid agroecosystem in the Loess Plateau of Northwestern China. **Agricultural Systems**, v.52, p.83-111, 1996.

WULLSCHLEGER, S.; LYNCH, J.; BERNTSON, G. M. Modeling the below ground response of plants and soil biota to edaphic and climatic change-what can we expected to gain? **Plant and Soil**, v.165, p.149-160. 1994.

YAO, J.; BARBER, S. A. Effect of one phosphorus rate placed in different soil volumes on P uptake and growth of wheat. **Soil Sci. Plant Anal.**, New York, v.17, p.819-27, 1986.