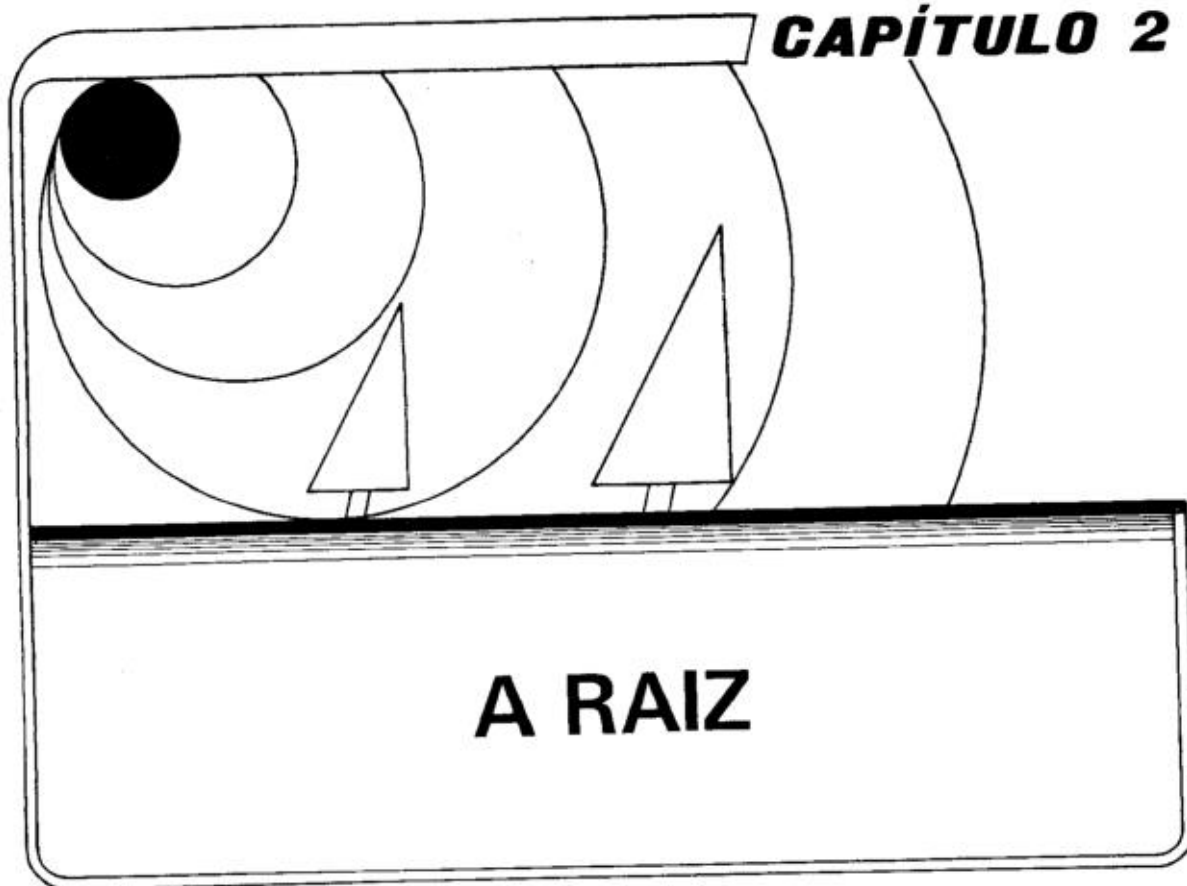




A RAIZ

Nos últimos decênios a Genética fez avanços maravilhosos. Criaram-se plantas para os mais diversos ambientes, adaptaram-se as espécies em quase todas as latitudes e altitudes, aumentou-se a produção pela hibridação. Criaram-se variedades resistentes a doenças, no mínimo por alguns anos. Existem variedades precoces e de ciclo ultracurto e variedades anãs, e a possibilidade de influir sobre os genes através de irradiações e substâncias diversas permite um grande número de mutações.

Enquanto o **Dr. Borlaug** recebe o prêmio Nobel por seu trigo anão, que permite altos rendimentos em solos neutros e alcalinos nas zonas subúmidas do México, o problema de produção vegetal nos solos ácidos dos trópicos úmidos parece ainda não estar resolvido. Em trabalho recente (109) constatou-se que as variedades brasileiras, pelo menos no que diz respeito ao trigo, milho e soja, não são inferiores às européias em sua capacidade de absorção e metabolização em condições idênticas. Mas, mesmo assim, a produção no Brasil está muito aquém da das zonas temperadas.

O que falta não é a variedade mais produtiva mas a compreensão das condições ambientais, isto é, do solo exigido pela planta. *As exigências da planta incluem o bem-estar de sua raiz.*

Pela raiz ela absorve os nutrientes, na raiz processa-se parte da síntese dos aminoácidos. (86) Pela raiz abastece-se de água e assimila substâncias de crescimento, nutrientes e antibióticos do solo. (37,38) A raiz sente o efeito direto das técnicas agrícolas. Não há dúvida que todo manejo de solo tem como fim único criar condições favoráveis à planta e, em específico, à raiz, para que existam condições ótimas de produção. (63)

A produção agrícola é a meta prioritária no mundo inteiro para evitar a fome, cada vez mais generalizada. Mas, sem condições favoráveis para a raiz, a parte aé-

rea da planta não produz bem. E enquanto produzirmos pouco por área cultivada, o custo será elevado e o preço do produto alto.

A produtividade agrícola depende:

1. do solo e das condições biológicas, químicas e físicas que oferece;
2. da planta e de sua capacidade genética de produzir;
3. das técnicas agrícolas pelos quais se tenta criar as condições que permitem o desenvolvimento da capacidade genética da planta.

E o clima? O clima não é um fator isolado. Age através do solo, (132) e seu efeito é amenizado pela adaptação da planta. Esta se adapta à temperatura, à luminosidade e à umidade do ar. O solo regula a distribuição da umidade através de sua capacidade de conservar água disponível às plantas. (2, 8, 9, 97, 124)

O clima somente se torna fator decisivo quando o solo não cumpre sua missão de “amortecer” as oscilações climáticas. E o efeito danoso de chuvas frias, como ocorrem no Sul, geralmente pode ser evitado por um plantio na época certa. O efeito da distribuição pluvial e especialmente os “veranicos” se tornam decisivos para a produção, se o solo for mal tratado e as técnicas agrícolas não estiverem de acordo com as exigências vegetais em clima tropical, não considerando a capacidade de infiltração e de armazenamento de água pelo solo. (8, 9, 18, 64, 107)

É preocupação mundial, e não somente nos trópicos, o encrostamento e adensamento do solo de cultura. (14, 31, 34, 46, 64, 72, 80) Em solo com pouca capacidade de infiltração e armazenamento o clima torna-se uma desculpa muito boa, que não foge à verdade, mas está camuflando a causa real. (107, 124, 137, 149) Ao clima atribuem-se os efeitos de um manejo inadequado!

Quando a planta nativa aparece num lugar é porque todas as condições lhe são favoráveis. (1, 146, 147) Milhares de sementes caem num metro quadrado de chão, somente algumas centenas conseguem nascer e somente poucas dezenas e até só poucos exemplares conseguem se desenvolver. Não depende somente da presença da semente que uma planta nasça, depende igualmente dos microrganismos, da riqueza ou pobreza química do solo, de suas condições físicas e aqui especialmente de crostas superficiais, (14, 108) do regime de ar e água, da insolação e do uso pelo homem e gado. (143, 148) Por isso fala-se de “ecótipos”. Por exemplo, no Rio Grande do Sul os caçadores sabem que onde cresce o Mio-Mio o solo é firme, em contraste com o solo enxarcado coberto pelo capim-caninha (*Andropogon incanis*). E os pecuaristas sabem que o gado não se desenvolve bem nas zonas do Mio-Mio (*Baccharis coridifolia*), embora não o comam, porque falta o molibdênio. (108a) E o lavrador sabe que terra de Mio-Mio raramente pode ser arada, porque é rasa demais. A planta nativa pode servir de “indicadora” porque acusa perfeitamente as condições do solo. (20, 70, 147) Assim barba-de-bode (*Aristida pallens*), capim-cabeludo (*Trachypogon spp*) ou sapé (*Imperata exaltata*) são plantas típicas de solos periodicamente queimados, muito ácidos, pobres em cálcio e fósforo e com regime hídrico alterado. Capim-seda (*Cynodon dactylon*) indica solos muito compactados e samambaia, solos com teor elevado de alumínio trocável. Todos os capins de tipo *Andropogon*, como rabo-de-burro, rabo-de-coelho, capim-caninha etc. indicam solos pobres com problemas de drenagem. E assim cada lugar pode ser identificado pela vegetação ali existente. (20, 70, 71, 146, 147)

Na agricultura não se pergunta que planta poderia crescer espontaneamente neste terreno. Impõe-se a cultura, defendendo-a com todos os meios contra a vegetação nativa, que sempre voltará a invadir o campo que lhe é próprio. Os “ecótipos” (*eco* = lugar) tornam-se invasores. (7)

Aí entra a técnica agrícola que deve:

1. escolher o solo mais adequado para determinada cultura ou pastagem;
2. criar condições que beneficiam ao máximo a cultura implantada. Podem-se escolher variedades apropriadas ao clima e ao solo, plantar quebra-ventos, reflorestar e, talvez construir açudes, aplicar uma calagem e adubar e defendê-las contra pestes e pragas, que geralmente provêm do solo (*soil born*).

Como é básico que a planta esteja adaptada ao clima, o que devemos propiciar é um solo favorável ao seu cultivo. É a parte mais atingida é a que cresce no solo, a raiz. Portanto existe o problema de acondicioná-la de maneira conveniente.

A FORMA DA RAIZ

A raiz é característica à espécie e pode ser pivotante ou fasciculada. A planta pode formar rizomas ou órgãos de armazenamento, tubérculos como na batatinha, raízes engrossadas como na mandioca, bulbos como na cebola, conforme o lugar e a época em que a planta, em estado nativo, vegeta e floresce. A raiz serve para ancorar a planta no solo, para absorver água e nutrientes, para produzir parte dos aminoácidos (86) e para excretar substâncias ou metabolitos que podem ser "lixo" mas que servem igualmente ao sustento da microvida na rizosfera e que mobilizam nutrientes. (26, 64, 76, 144) (vide capítulo VI) Excreta igualmente minerais, como, por exemplo, potássio, na época de maturação, o que é fato muito conhecido. Muitas vezes, a raiz também tem a capacidade de reter minerais absorvidos, que a planta não pode utilizar em maiores quantidades. (15, 108 a)

A raiz não consegue absorver em toda a sua superfície, ou, pelo menos, somente muito pouco. O local principal de absorção está logo após a ponta das radículas, na zona onde já se formaram pêlos e onde a casca ainda não está suberificada como mostra a figura 2.1 (33, 79, 86)

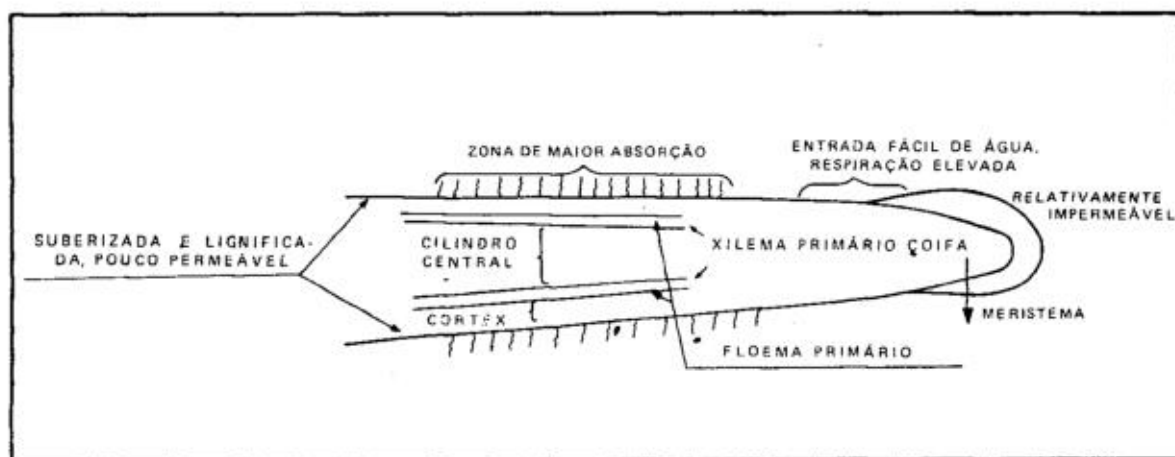


Fig. 2.1 Ponta de uma radícula mostrando as zonas onde ocorre a maior absorção

A zona de maior absorção situa-se, geralmente, 1 e 2 mm atrás da ponta da radícula. Isso significa que a raiz tem que formar permanentemente novas pontas à medida que está ocorrendo a suberificação. E se extraírmos uma raiz de uma planta que passou por um período seco mas, finalmente, recebeu água, podemos verificar uma grande quantidade de radículas brancas, recém-formadas. A absorção intensa

ocorre somente enquanto a raiz crescer. (86) Essa é a razão por que há morte e renovação permanente das raízes, o que enriquece o solo com matéria orgânica. A raiz pode crescer, formando uma cabeleira densa em lugar reduzido, como ocorre em solos ricos e também em húmidos (122, 123) ou pode aumentar de tamanho. (79)

Crescimento significa avanço. E, em solos menos ricos, para poder se abastecer de água e nutrientes, a raiz tem que avançar no solo, sempre explorando espaços novos. (53) Quanto mais radículas uma raiz possuir, tanto melhor será a exploração do solo. (29, 39, 57, 82, 87, 90) Dittmer (1937) mediu o comprimento e a superfície total da raiz de uma planta adulta de centeio (*Secale cereale*) cultivada em uma caixa de 30 x 30 x 55 cm.

Quadro 2.1

	Comprimento total em metros	Volume total em milímetros	Superfície em metros quadrados
Raízes	623 089	7 529	237,4
Radículas	10 627 752	1 180	401,5
Total raízes	11 250 841	8 709	638,9

Total de superfície foliar inclusive talos e caules: 4,7 m²

Verifica-se que uma massa enorme de raízes se destina a sustentar uma área, relativamente muito pequena, de folhas. A extração paciente de uma raiz de beterraba deve dar uma impressão desta relação, como mostra a figura 2.2.



Fig. 2.2 Raiz de uma beterraba crescida em solo grumoso, desenvolvendo uma cabeleira abundante.

O comprimento e o volume das raízes nem sempre é idêntico. O sistema radicular varia segundo a espécie e até mesmo a variedade do vegetal, o solo, a disponibilidade de água, a riqueza mineral do solo, o alumínio ou manganês tóxico e o clima. (24, 79, 115, 116, 117, 130, 134)

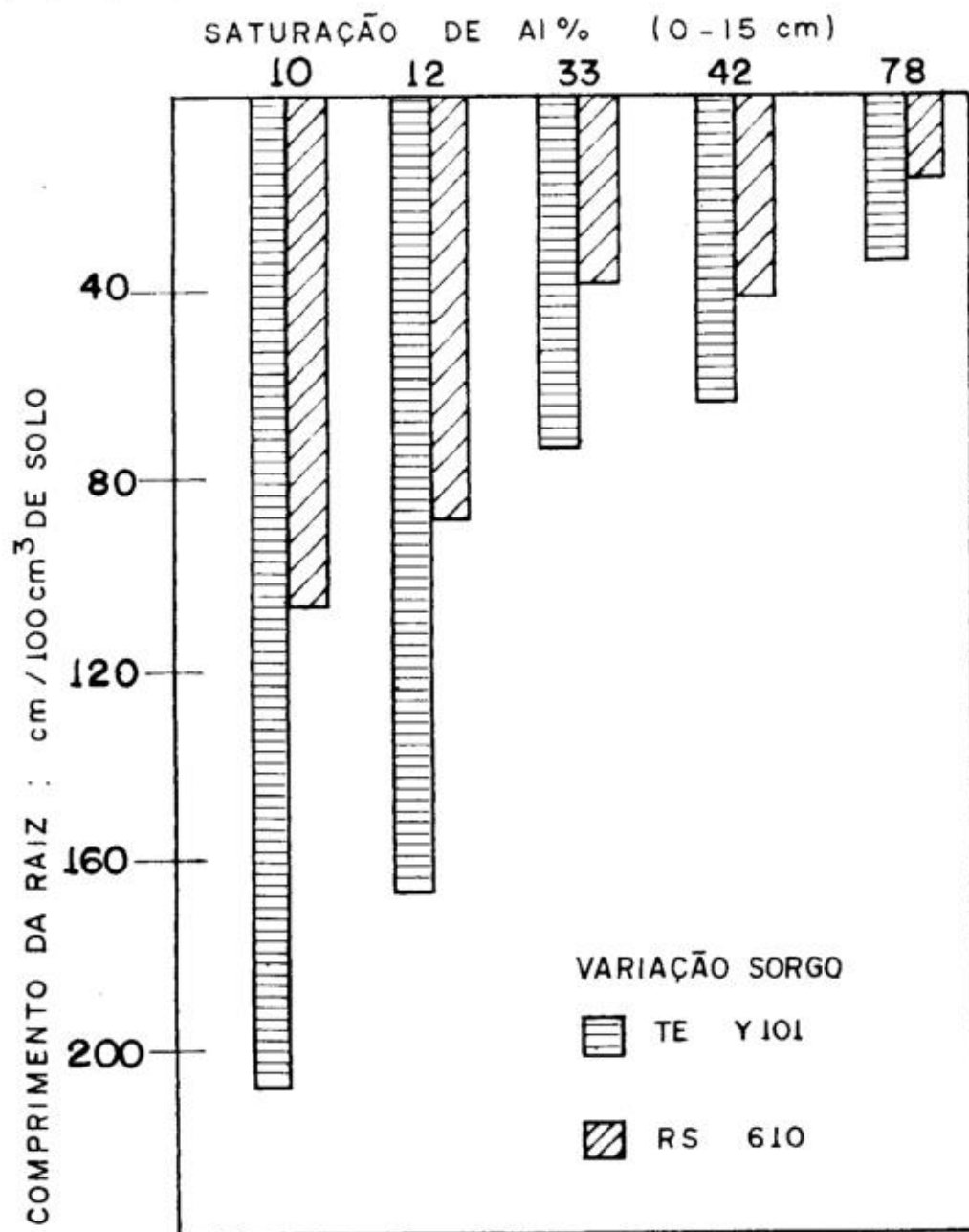


Fig. 2.3 Diferença varietal de sorgo em relação ao comprimento radicular e porcento de saturação de alumínio. (Salinas, 1975)

OS FATORES DOS QUAIS DEPENDE O ENRAIZAMENTO DE UM SOLO

O enraizamento de um solo depende essencialmente:

1. da espécie vegetal; (73, 79, 134, 146)
2. das propriedades físicas do solo e aqui especialmente de sua estrutura; (27, 35, 45, 56, 82, 90, 99, 103, 125)

3. das propriedades químicas do solo, ou seja, de sua riqueza ou pobreza em nutrientes e fatores tóxicos; (117, 118, 119, 151)
4. da umidade do solo, influenciando tanto secas ou "veranicos" como excesso de água por estagnação; (31, 34, 45, 48, 70, 73, 93, 112)
5. do uso do solo, que influi especialmente pelas técnicas agrícolas empregadas (46, 80, 111, 119) e que afrouxam ou compactam o solo e o manejo do gado em pastagens; (71, 143)
6. do clima (79), incluindo-se aqui temperaturas e precipitações, e os métodos de uso do solo que permite seu aquecimento forte ou sua impermeabilidade à água;
7. do nível freático (21, 95, 141, 151).

Geralmente 65% das raízes das plantas herbáceas se encontram na camada superficial (71, 79, 139). Com a profundidade do perfil do solo diminui a abundância das raízes. (79, 118)

Raízes mais profundas do que 1 metro, provavelmente, servem somente para o abastecimento com água em períodos secos. (11, 151) Normalmente plantas com raízes mais profundas conseguem superar melhor "veranicos", (8,9) e com um volume radicular extenso se alimentam melhor (80, 116)

A capacidade de formar raízes é geneticamente condicionada e um volume grande de raízes, geralmente, habilita a planta a produzir normalmente em solo pobre. (116)

Quadro 2.2 Comprimento e superfície de raízes e radicelas. (Russell, 1952)

cultura	comprimento da raiz m	superfície da raiz cm ²	número de radicelas milhões	comprimento radicelas m	superfície radicelas cm ²
soja	28,96	406,5	6,1	597,4	277,4
aveia	45,72	316,1	6,3	8 047,0	3 420,0
centeio	64,01	503,2	12,5	16 800,0	7 678,0
<i>Andropogon</i>	384,00	2 119,0	51,6	51 660,0	15 810,0

Observ.: As raízes foram medidas num volume cilíndrico de solo de 7,62 cm de diâmetro e de 15,24 cm de comprimento.

Dos resultados pode-se deduzir que o "blue grass" (*Andropogon sp*) é capaz de crescer em solo mais pobre que a soja, deixando muitos restos orgânicos, provenientes de raízes mortas, melhorando o solo fisicamente. (25) A espécie vegetal, portanto, possui propriedades específicas de poder aproveitar um solo.

AS PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO E O ENRAIZAMENTO

Quando a raiz tem desenvolvimento livre, duplicando seu comprimento, o espaço explorado será 8 vezes maior. (11) A planta explora um maior volume de solo, sendo melhor nutrida. (130) Na figura 2.4 mostra-se o efeito da possibilidade de uma expansão radicular maior. A planta, duplicando o comprimento radicular, pode absorver água e nutrientes de um espaço 8 vezes maior, do que consegue com a metade do comprimento radicular. Conseqüentemente recebe oito vezes mais água e nutrientes.

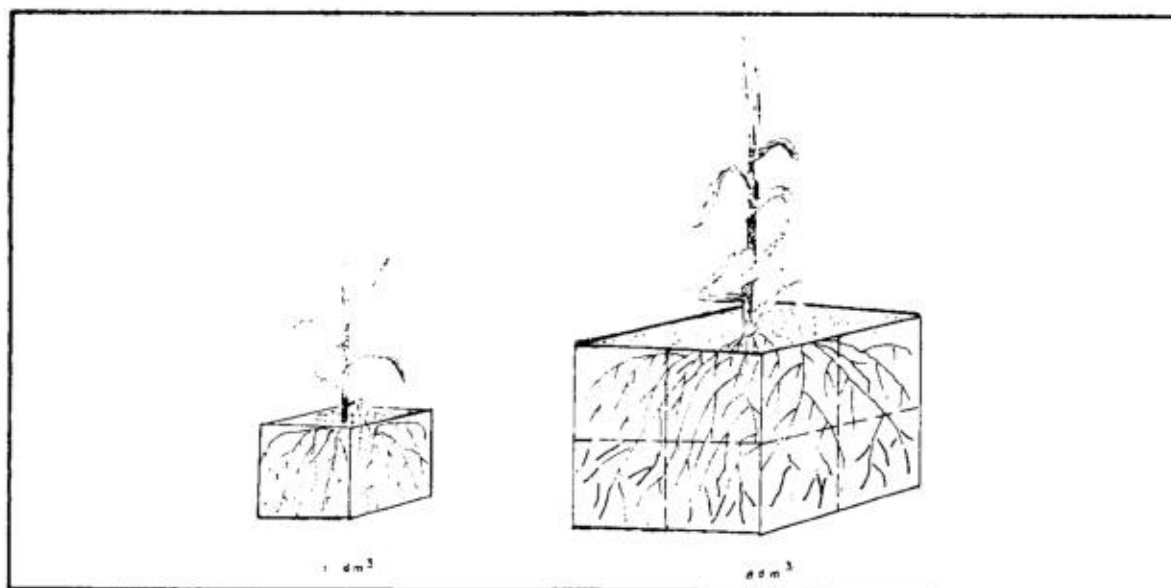


Fig. 2.4 o efeito da duplicação do comprimento radicular sobre o volume de solo explorado. (Batey, 1973)

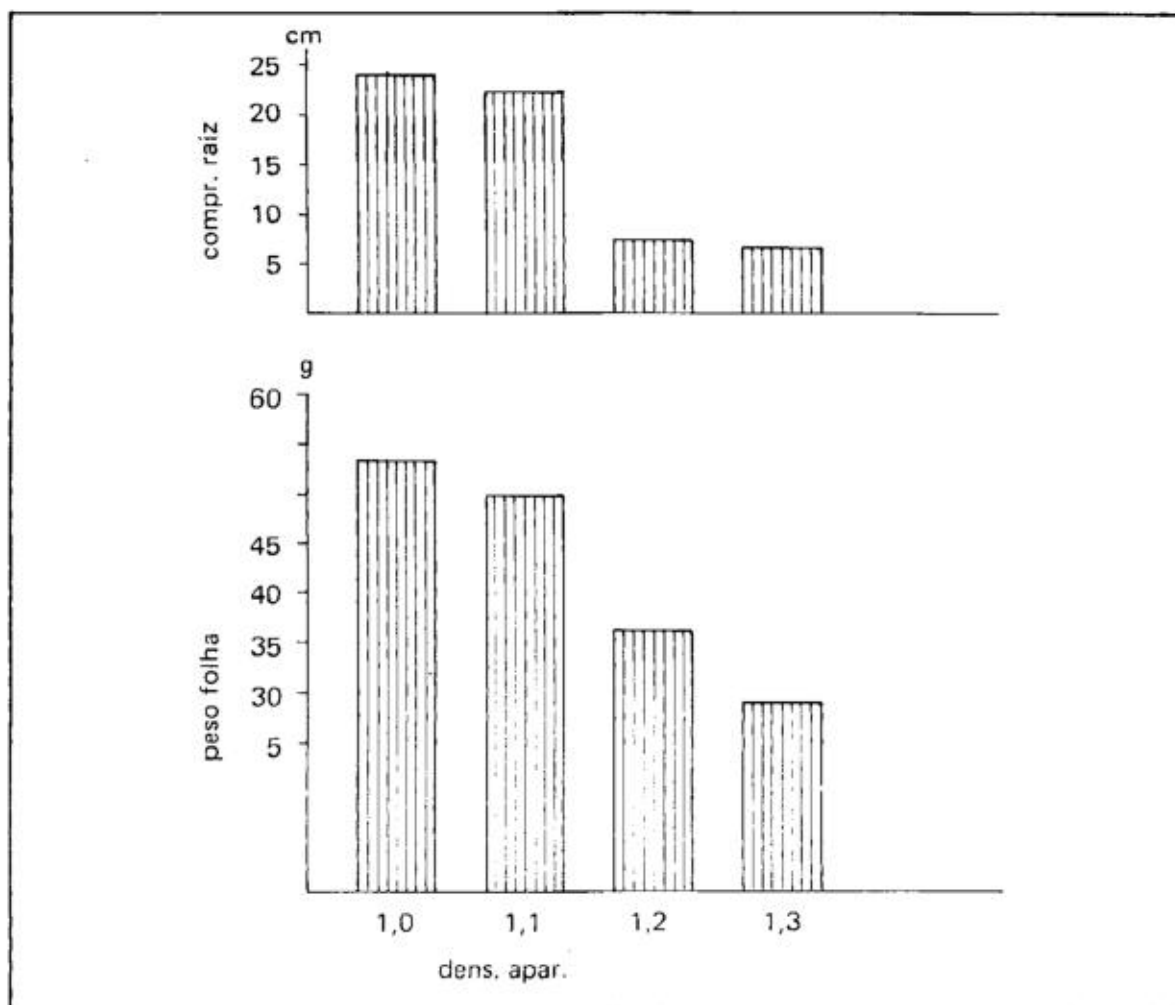


Fig. 2.5 Efeito da compactação do solo no desenvolvimento e penetração de plântulas de cacau com idade de 6 meses. (Ferreira, 1977)

Portanto qualquer barreira que impeça o livre desenvolvimento radicular representa um empecilho ao desenvolvimento vegetal.

A figura 2.5 mostra que com o aumento da densidade aparente do solo a raiz encontra dificuldades de penetração (a partir de $1,2 \text{ g/cm}^3$) tendo reflexo sobre o desenvolvimento das plantas de cacau.

O problema maior dos solos agrícolas é que com o tempo de uso estes perdem sua estrutura favorável, adensando-se e encrostando-se (35, 46, 50, 51, 101, 102, 103, 127, 138) devido à deterioração dos grumos. (vide capítulo VII) Os mesmos processos que contribuem à formação de crostas superficiais contribuem à formação de adensamentos, que muitas raízes não conseguem transpassar. (31, 53, 80) Em solos secos uma densidade aparente de $1,2$ a $1,4 \text{ g/cm}^3$ já pode constituir uma barreira séria, enquanto que a partir de $1,6 \text{ g/cm}^3$ a maioria das raízes desvia. (11, 78) Assim as raízes do cacaueiro já estão sendo limitadas por uma densidade de $1,2 \text{ g/cm}^3$ (35) e os do cafeeiro de $1,4 \text{ g/cm}^3$. (78)

Solos nativos, sem uso predatório, são mais permeáveis, possuem maior porosidade e conservam mais água disponível, graças à sua estrutura grumosa. (12, 105, 106, 114, 116, 127) Seu enraizamento é profundo por possuir densidade aparente baixa (46, 58, 78). Pelo cultivo e as técnicas atuais esta estrutura degrada-se invariavelmente, aumentando a densidade de uma camada pouco abaixo da superfície, onde a maioria das raízes deveria desenvolver-se. (46, 64, 72, 83, 85, 137, 139)

Poder-se-ia acreditar que a compactação e o adensamento dos solos induzidos pela mecanização e o cultivo atual em geral, e que reduzem as colheitas (101, 102, 103, 119), possam ser aniquilados por técnicas mais sofisticadas. "Assim convivemos com um sistema agrícola que possui a capacidade inerente de compactação e adensamento dos solos", como diz Gill (1971).

A ÁGUA NO SOLO

O efeito primário do adensamento e compactação sobre o crescimento vegetal pode ser associado diretamente com a água disponível. (31, 46, 107, 127, 149) O segundo efeito é a condição do solo criado pelo uso de maquinaria para seu preparo. (80, 111) O terceiro é a falta aguda de oxigênio no solo explorado. (45, 56, 87, 99)

As condições normalmente encontradas, num solo agrícola, são:

1. uma crosta superficial que impede a infiltração da água pluvial, provocando seu escoamento e com isso a erosão. (14, 31, 60) Segue
2. uma camada solta logo abaixo, de 6 a 8 cm de espessura (60, 101);
3. abaixo desta encontra-se uma camada adensada cuja espessura oscila entre 6 e 15 cm e com grau de densidade diferente, geralmente constituindo uma barreira de efeito variável à penetração radicular. (46, 53, 101, 121, 125)

Este quadro significa que o solo, exposto ao sol e à chuva, não resistiu ao impacto da água (11, 64, 119), desmanchando-se as partículas ou grumos do solo, cuja parte fina, carregada solo adentro, forma os adensamentos ou "pans". Sua transponibilidade depende, em parte, do seu grau de umidade. (34, 124)

Na maioria dos solos "velhos" de cultura, a raiz fica restrita à camada superficial, sofrendo de temperaturas extremas (2, 10, 119).

Quadro 2.3 Parte da "corrente de calor" no solo (em %) medida no saldo de insolação/calor com vegetação diversa do solo. (Baumgartner, 1956)

capa vegetal	Saldo de calor em % da insolação	parte do solo (%)	
		de insolação	do saldo de insolação
solo descoberto	100	15-30	15-30
pastagem baixa	30-80	15	25-35
cereais miúdos (trigo, aveia)	10-30	10	25-35
capim alto	5-10	5	30-40
floresta	5	2-3	30-45

Observ.: insolação = radiação total que alcança a terra.

Quanto mais alta e densa a cobertura do solo tanto menor a radiação solar que o alcança, porém tanto maior o efeito utilizável, como mostra o quadro 2.3. Quanto maior o calor que alcança o solo, tanto mais prejudicial para a raiz, que não consegue desenvolver-se nesta camada do solo, por falta absoluta de água. Logicamente, a absorção de água e nutrientes é prejudicada (8, 9) e a parte aérea da planta acompanha a raiz tendo rendimento reduzido. (63, 129)

O problema do encrostamento deve-se à instabilidade dos grumos à água e os rendimentos baixos das culturas a acompanham, como mostra (Stauffer, 1940)

Quadro 2.4 Rendimento de milho em relação à densidade aparente do solo seco, seu teor em carbono e a estabilidade dos agregados. (Stauffer, 1940)

Rotação de cultura e adubação	milho kg/ha	densidade aparente g/cm ³		teor em carbono (%)		estabilidade dos grumos à água (%)
		0-15 cm	15-23	0-15 cm	15-23	
milho - milho sem adubo	2 600	1,37	1,25	1,74	1,48	8
milho - milho com Cal. P e esterco	4 400	1,31	1,26	2,09	1,91	6
milho - aveia sem adubo	3 500	1,33	1,30	2,14	2,04	6
milho - aveia com Cal. P e esterco	5 600	1,24	1,37	2,44	2,04	7
milho - aveia - legumi- nosa, sem adubo	4 900	1,31	1,28	2,28	1,99	11
milho - aveia - legum. Cal. P. e esterco	6 700	1,21	1,28	3,25	2,18	13
palha superfic. incor- porada, sem adubo		1,28	1,29	3,20	2,16	50

Observ.: O tamanho dos grumos é > 0,5mm

Podemos observar que o efeito de esterco sobre a resistência dos agregados é praticamente nulo, oscilando a densidade aparente da camada superficial do solo entre 1,24 e 1,33 g/cm³ quando for usada uma rotação. Somente uma rotação de 3 culturas, incluindo leguminosas, com cobertura melhor do solo, surtiu algum efeito. O

aumento das colheitas em rotação com adubo é devido a outros fatores discutidos nos capítulos IV e IX.

O efeito da palha sobre a resistência dos grumos é pronunciado.

A habilidade das plantas de poder crescer em solo seco ou úmido depende do potencial radicular. Assim, por exemplo, sorgo supera melhor períodos secos e cresce melhor em solo adensado do que milho. (22) As raízes das plantas que podem alcançar 3 a 6 metros de profundidade, se não houver obstáculos, possibilitam o desenvolvimento normal em zonas pouco pluviosas, como, por exemplo, de sorgo, alfafa ou *artemísias*.

Porém crescer em camadas secas, superaquecidas pela incidência direta do sol, planta alguma o consegue. Na figura 2.6 esquematizou-se o efeito de uma crosta superficial no desenvolvimento radicular. Esta crosta impede a infiltração de água mas, é bom condutor de calor, de modo que cria uma camada de aproximadamente 5 cm completamente seca e quente durante o dia. Aqui a raiz não consegue formar radicelas. Segue-se uma camada fofa, bem enraizada, onde já existe o suficiente de umidade para o crescimento radicular e abaixo segue uma camada adensada, barrendo o desenvolvimento normal das raízes.

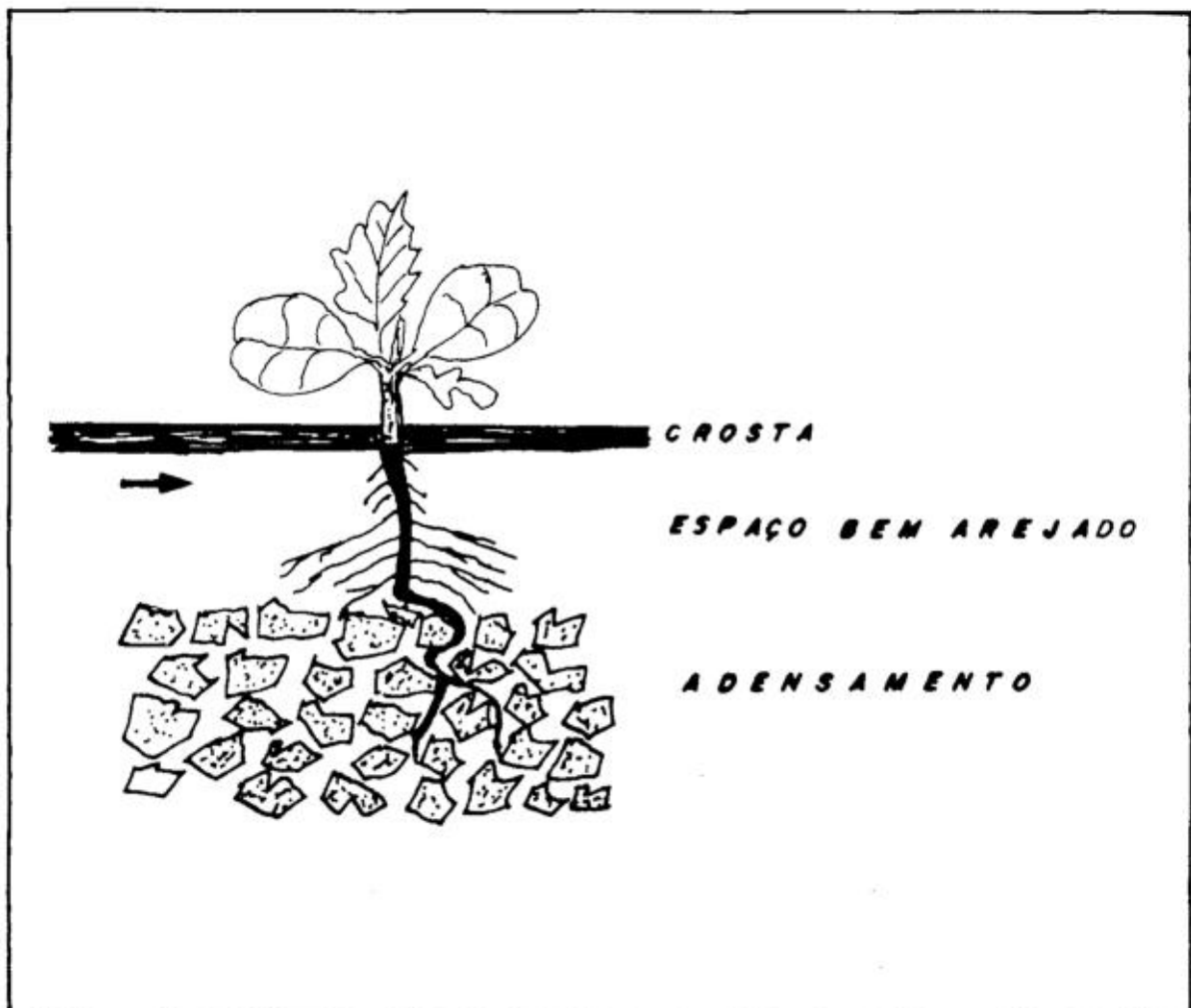


fig. 2.6 O efeito da crosta superficial sobre o desenvolvimento radicular.

Capinas e herbicidas, que mantêm o solo "limpo" de ervas indesejadas, aumentam o efeito de seca e calor nesta camada.

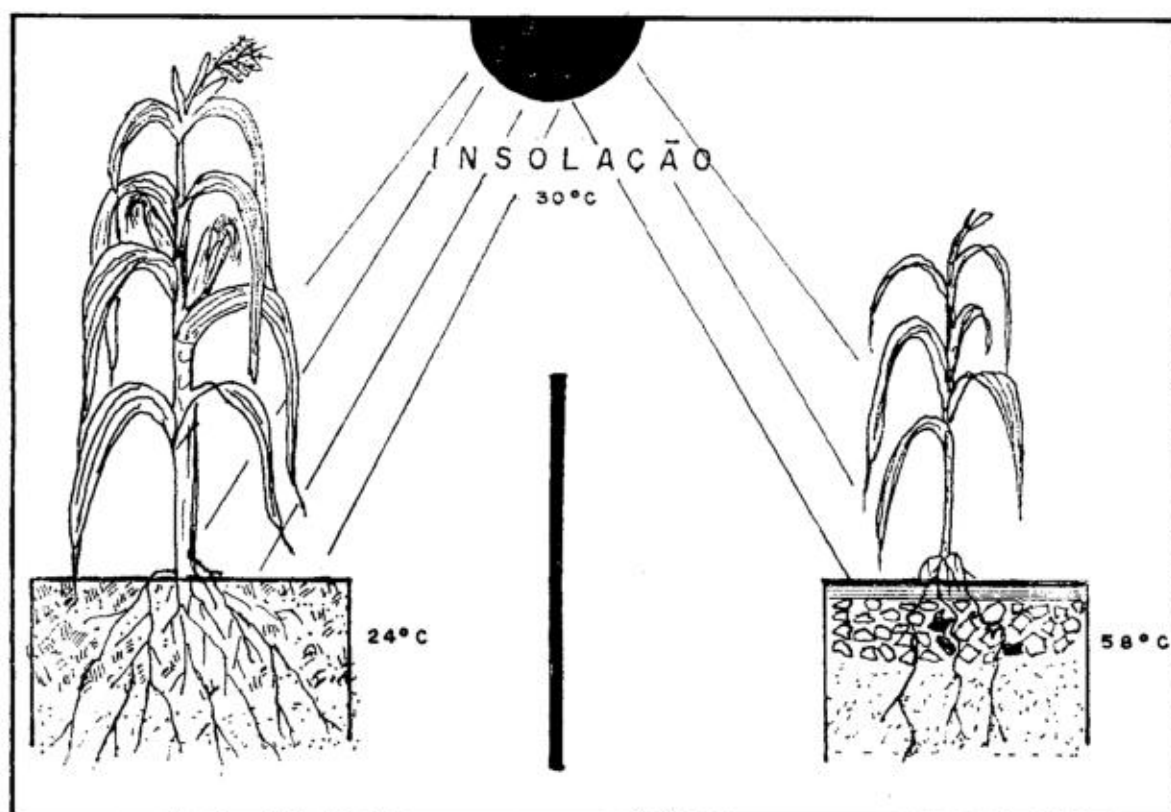


fig. 2.7 O efeito de insolação direta sobre um solo encrustado e adensado.

Em solo grumoso, o calor superficial provoca a ascensão da água à superfície. Em solo adensado e encrustado, onde a infiltração era deficiente, a seca é total e o aquecimento é pronunciado, como se mostra na figura 2.7.

Crosta superficiais impedem a infiltração de água. (31, 34, 46, 77, 111, 115, 135) *Não é a água que cai na chuva, mas a água que se infiltra no solo que faz as plantas crescer!*

Onde a água não se infiltra, ou em muito pequena quantidade, ela escorre. O efeito da crosta superficial é tanto mais pronunciado sobre a infiltração, quanto mais adensado o solo for logo abaixo. (124) Se à crosta se segue um solo solto, o efeito é menor e, com ele, a erosão, como constatou Schmidt (1964). Portanto pode existir xerofitismo pronunciado e até um caráter desértico em zonas com elevadas taxas pluviométricas, porém com solos encrustados e adensados como mostrou Schendel (1967) (vide capítulo I). De modo que não é sempre o clima que provoca a deficiência de água mas sim o próprio solo.

Todos os ecologistas sabem que a raiz varia de forma e tamanho segundo a umidade do solo, que pode ser consequência do clima, como mostra a figura 2.8, ou de adensamentos, como mostra a figura 2.9.

Verificamos que a raiz, à procura de água, consegue enraizar o solo até profundidades consideráveis, de modo que a existência de raízes em maior profundidade indica uma infiltração boa. Quando, porém, o solo tiver um nível maior de nutrientes, as raízes conseguem nutrir-se com maior facilidade e não penetram tão profundo no solo, uma vez que o gasto de água depende, também, da nutrição vegetal. Em clima seco, onde a quantidade de água não é o suficiente para percolar todo perfil do solo, as raízes permanecem na camada superficial, indicando assim até onde ocorre a infiltração. Quando, porém, o desenvolvimento radicular permanece superficial por causa de adensamentos, o aspecto é outro, como mostra a figura 2.9.

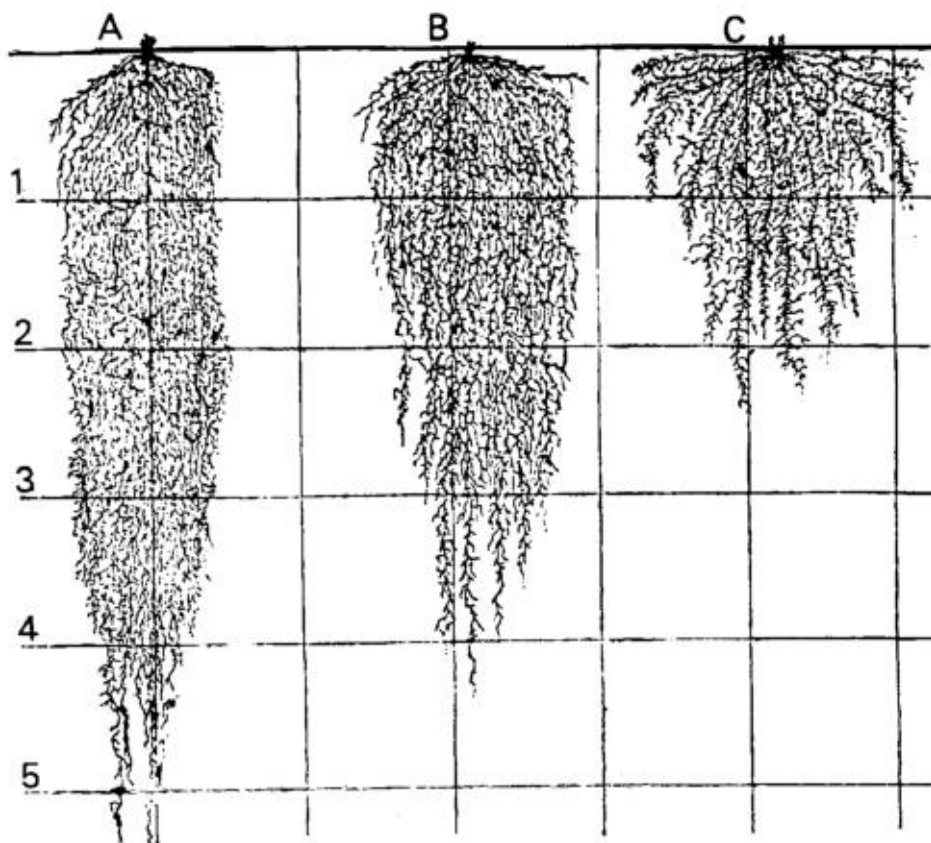


Fig. 2.8 *Variações da raiz de uma planta segundo a umidade do solo e sua riqueza mineral.*
 a) clima úmido, solo permeável com riqueza mineral reduzida,
 b) clima úmido, solo permeável e humoso com riqueza mineral boa,
 c) clima seco, solo permeável com riqueza mineral boa. (Kutschera, 1960)

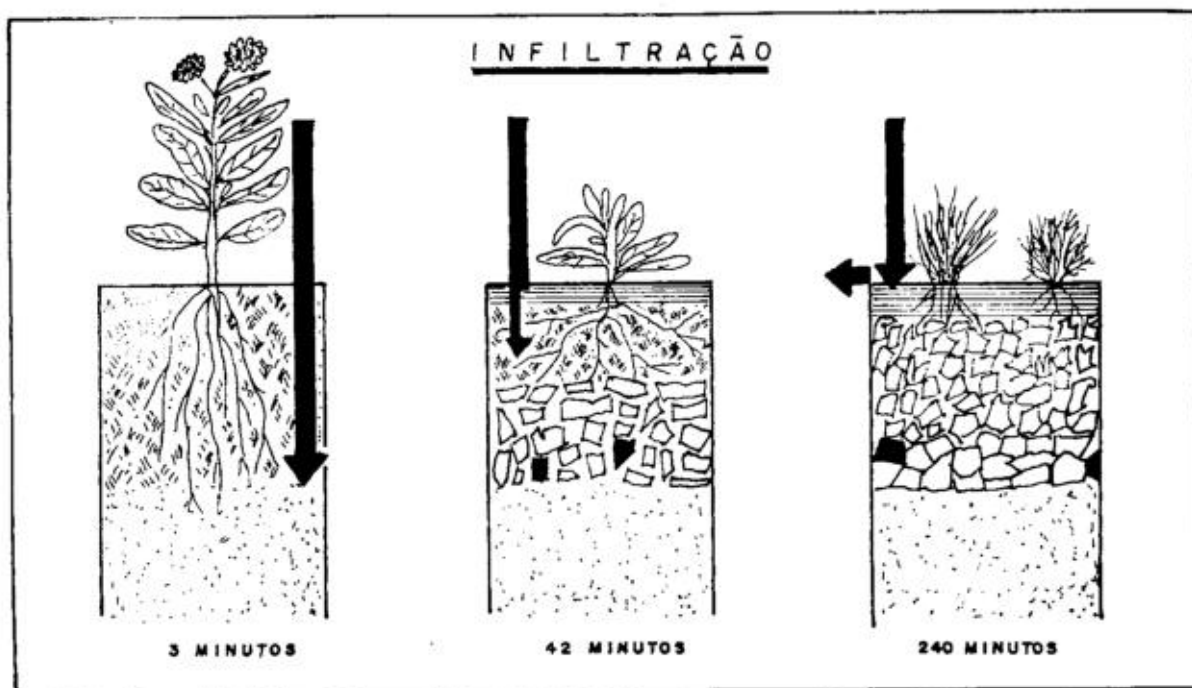


Fig. 2.9 *Efeito de adensamento do solo sobre o desenvolvimento radicular e a mudança de "ecótipos".*

Verifica-se que a infiltração diminui à medida que o solo mostra adensamentos e crostas superficiais, de modo que finalmente se instala uma vegetação xerófita, graças às dificuldades das raízes em poder absorver água.

Isto se compreende facilmente considerando que a infiltração depende dos macroporos do solo, de onde a água pode sair pela força de gravidade. São os poros de arejamento, mas também os de infiltração. Assim Machado fornece os dados para o seguinte quadro bastante elucidativo.

Quadro 2.5 *Propriedades físicas e químicas do solo e a infiltração de água. (Machado, 1976)*

	densid. apar. g/cm ³	macro- poros %	infiltr. 9 h/mm	C %	pH	S %	Al troc. me %
Mato	1,15	21,96	84,9	4,4	5,3	12,56	0,16
Campo	1,22	16,60	56,1	3,4	5,0	4,75	1,13
plantio convenc.	1,38	7,03	27,6	1,5	4,3	2,83	2,46
plantio direto	1,23	13,29	66,3	3,4	5,3	9,74	0,27

Podemos verificar que não é somente 1 único fator que se modifica. A modificação é do conjunto de todos os fatores e quando aumenta a densidade aparente, diminuem os macroporos, a infiltração, o pH, a saturação em bases, mas aumenta o alumínio. De modo que a deterioração das condições do solo é geral, contribuindo assim para a redução drástica da colheita. Às condições piores para o crescimento radicular somam-se a deficiência de água e de nutrientes e a toxidez de alumínio. E todos em conjunto dependem da tecnologia de preparo do solo. Por isso, muitas vezes o fator "densidade" é atribuído ao alumínio tóxico, que, porém, somente o acompanha.

A possibilidade de absorver água com facilidade do solo depende do tamanho dos poros. Assim Odén dá o seguinte quadro:

Quadro 2.6 *A disponibilidade de água nos diversos tamanhos de poros no solo. (Odén, 1957)*

diâmetro em micras	pF	tipo de água
macroporos	< 1,2	drenável por gravidade
poros médios	1,2-2,2	facilmente disponível às plantas
poros finos	2,2-3,2	disponível às plantas
microporos	3,2-4,2	difícilmente disponível
ultraporos	> 4,2	não disponível às plantas (água higroscópica).

Compreende-se, facilmente, que o desaparecimento dos macroporos acusado no quadro 2.5 provoca a redução drástica da infiltração, e causa, conseqüentemente, uma seca antecipada nas plantas.

A água é tanto mais essencial na vida vegetal quando se considera que entre 85 e 95% da planta são água e que não existe absorção vegetal sem que as substâncias, minerais ou orgânicas, sejam dissolvidas em água.

O crescimento radicular, com exceção das plantas adaptadas a solos encharcados, ocorre somente entre a tensão de água de 1/3 a 15 atm. Em tensões maiores, muitas plantas encontram dificuldades em retirá-la do solo, em tensões menores falta o oxigênio, enquanto a água ocupa os poros de ventilação, como mostra a figura 2.10.

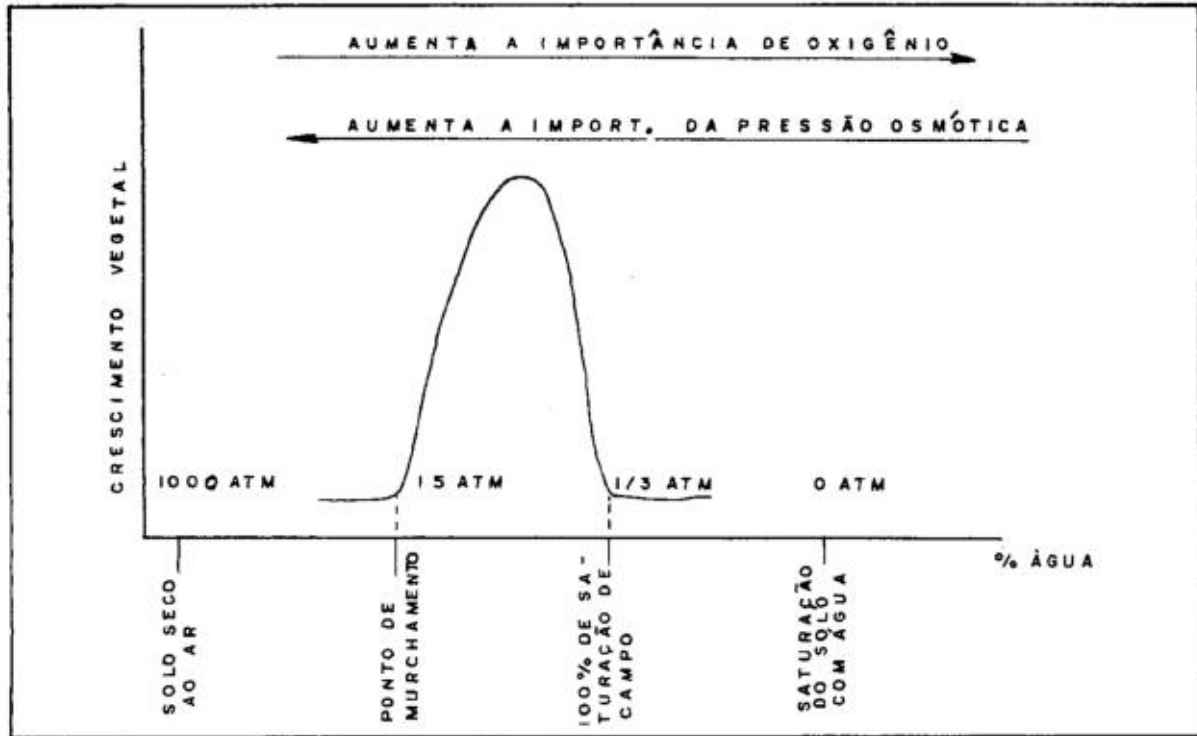


Fig. 2.10 O grau de saturação em água do solo e sua influência sobre o crescimento vegetal

Embora a água seja indispensável a qualquer processo químico ou biológico no solo, as raízes suportam seu excesso tão mal quanto uma escassez. Nenhuma cultura, com exceção de arroz, consegue crescer num solo saturado a 100% de sua capacidade de campo. Cereais de grãos miúdos, como trigo ou aveia, preferem geralmente uma saturação de 60% enquanto ervilhas, soja e outras leguminosas têm seu melhor desenvolvimento com 80% da capacidade de campo. Também existem plantas que ainda crescem bem com apenas 40% de capacidade de campo como as *Artemísias*. Mas enquanto os cereais baixam o rendimento a mais ou menos 20% quando a capacidade de campo for saturada, as ervilhas o baixam a 9,3%, por serem muito mais sensíveis a um excesso de umidade, como mostra o quadro 2.7.

Quadro 2.7 Umidade do solo em % de sua "capacidade de campo" e o rendimento de algumas culturas. (Mitscherlich, 1954)

cultura	capacidade de campo				
	20%	40%	60%	80%	100%
centeio	30,7	71,4	100,0	77,6	19,6
ervilha	14,1	50,3	87,4	100,0	9,3
feijão-fava	16,1	48,4	63,9	100,0	32,8
bataatinha	15,1	48,3	89,0	100,0	62,5

Observ.: dados em % do rendimento ótimo.

Existem plantas que vivem no pântano e outras que habitam o deserto. O que as habilita para isso é:

1. a tensão negativa da raiz, que também é chamada pressão osmótica, e que em halófitas, que vivem em solos salinos, pode subir até 60 a 100 atmosferas;
2. o abastecimento da raiz com oxigênio através do aerênquima, quando vivem em solos saturados em água.

A pressão osmótica é responsável pela absorção ativa e ganha importância aquém do "ponto de murchamento" comum, enquanto que o problema de oxigênio ganha máxima importância além da saturação de campo. Pode-se alterar o ponto de murchamento até certo limite, através de uma boa nutrição da planta, habilitando-a a crescer em solos mais secos. Mas, à falta de oxigênio não há adaptação.

É possível calcular o déficit de água no solo através do seu enraizamento. (11) Este déficit pode ocorrer quando as chuvas são escassas, quando a infiltração é deficiente, quando a percolação é impedida por adensamentos ou quando o nível freático é baixo demais para que haja transporte de água à superfície.

A INFLUÊNCIA DO NÍVEL FREÁTICO SOBRE O CRESCIMENTO RADICULAR

Tanto um nível freático muito profundo (21, 36, 70, 73, 93) como um muito superficial (11, 112, 145, 150) podem constituir limitações para o crescimento radicular. (vide capítulo IX)

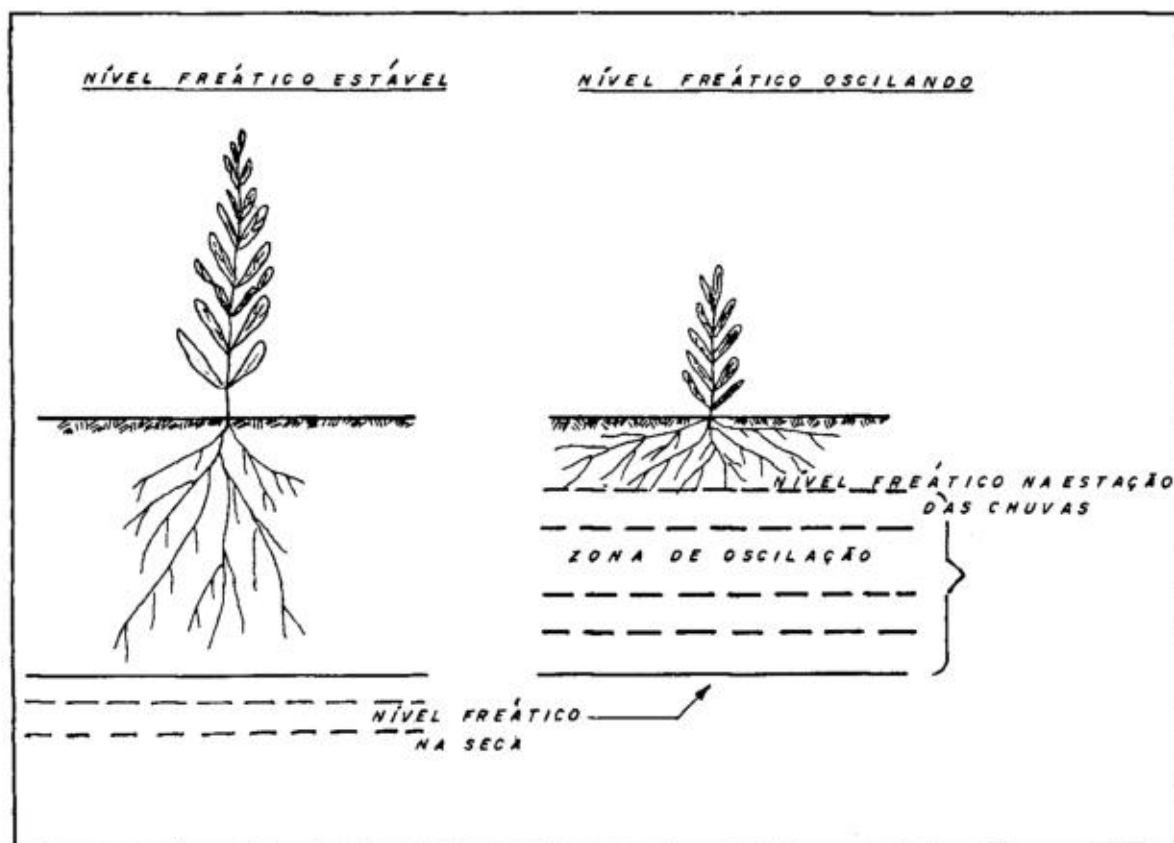


Fig. 2.11 a *Influência das oscilações do nível freático sobre o crescimento radicular.*

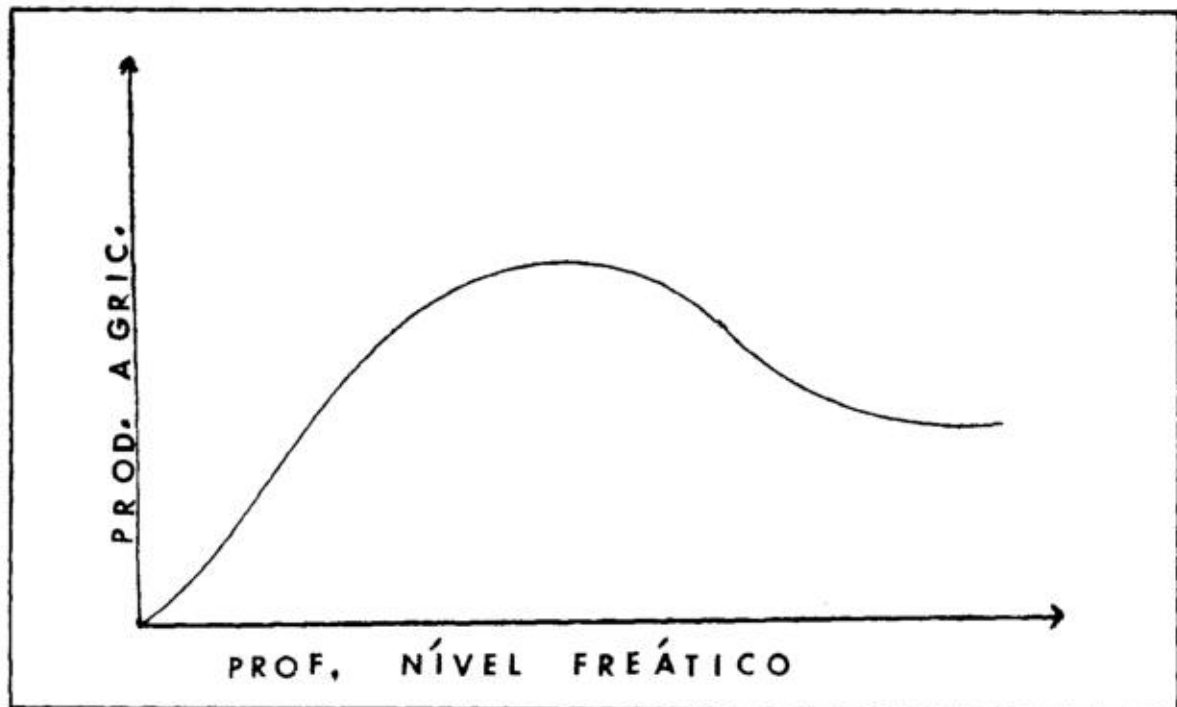


Fig. 2.11b *Influência do nível freático sobre a produção.* (Viesser, 1960)

Se o nível freático é baixo, a falta de água é patente e as raízes concentram-se no solo superficial, para captação das águas pluviais que, nestas zonas, geralmente são escassas. (146)

Mas se o nível freático é muito superficial, como ocorre em muitos solos da Amazônia e em partes do Nordeste, limita igualmente a penetração radicular. Na “mata geral”, com muitas árvores com raízes respiratórias ou raízes tabulares, encontramos o quadro típico de um nível freático alto, às vezes subindo até a superfície. As oscilações do nível freático, geralmente, limitam o enraizamento do solo (11) como mostra a figura 2.11, simplesmente por falta de oxigênio no horizonte encharcado. (24)

Esta é a razão do fenômeno que em muitas regiões da Amazônia, como, por exemplo, na de Altamira, a mata podia ser derrubada por um caterpilar Diesel, por causa de suas raízes muito superficiais.

A BARREIRA FÍSICA DOS ADENSAMENTOS

Embora existam máquinas capazes de pulverizar qualquer solo, para preparar o campo para a semeadura, esta “pulverização” é de pouca duração e a primeira chuva já encrosta a superfície da terra, como mostra a figura 7.26 e 7.29 a-b.

O adensamento do solo e o confinamento das raízes à camada superficial é comum em terra agrícola. (67, 139) Bem como em pastagens de uso permanente. (148) A restrição do espaço enraizado significa a restrição de água e nutrientes à disposição, uma vez que o volume de solo explorado pela raiz é menor. E esta situação está piorando com o decorrer do tempo, ou seja, à medida que as chuvas destroem os grumos superficiais e as partículas finas destes grumos se “sedimentam”, formando uma camada adensada que “cresce” de baixo para cima, como mostra a fig. 7.17. No quadro seguinte mostra-se a concentração das raízes na superfície, com o decorrer do tempo, pelas razões acima citadas.

Quadro 2.8 *Distribuição do sistema radicular do morangueiro em Latossol Vermelho Amarelo em duas fases do ciclo vegetativo. (Inforzato, 1973)*

prof. do perfil em cm	aos 105 dias de idade			aos 201 dias de idade		
	g	%	% acumul.	g	%	% acumul.
0-5	24,36	72,6	-	40,78	90,10	-
0-10	4,04	12,0	84,6	1,60	3,52	93,62
10-15	2,53	7,5	92,1	1,69	3,72	97,34
15-25	1,95	5,8	97,9	0,87	1,91	99,25
25-35	0,37	1,1	99,0	0,25	0,55	99,80
35-55	0,32	1,0	100,0	0,09	0,20	100,00

Verifica-se que, enquanto com 105 dias de idade, 72,6% das raízes do morangueiro estavam concentradas nos primeiros 5 cm de solo, após 201 dias, 90,1% das raízes encontravam-se neste espaço. As raízes fasciculadas desviam, quando esbarram contra o adensamento, penetrando somente muito poucas em épocas de chuva. As raízes pivotantes forquilha e ficam retorcidas. Raízes desviadas podem ser também, o efeito de uma maior concentração de alumínio tóxico. Porém, forquilhadas nunca o podem ser. Nas figuras 2.12 e 2.13 mostra-se uma raiz forquilhada, esquematizando-se em seguida a razão deste forquilhamento. Verifica-se que a raiz somente pode penetrar na camada adensada pelas rachaduras formadas entre os torrões, desviando-se do seu caminho reto, natural.



Fig. 2.12 *Raiz de beterraba forquilhada devido a adensamentos.*

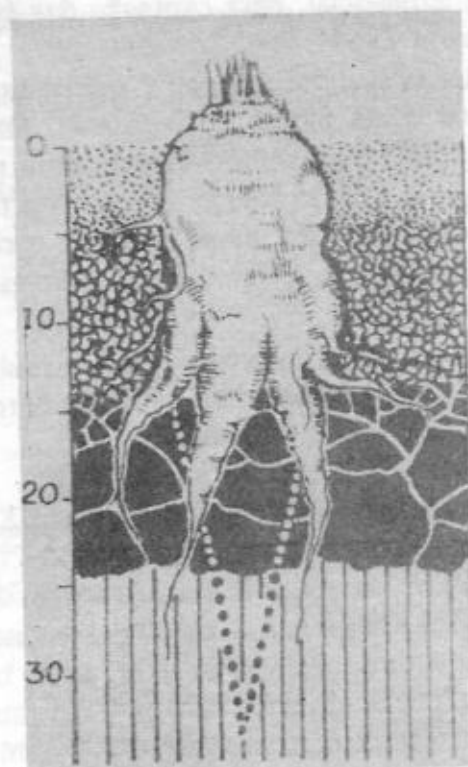


Fig. 2.13 *Esquema explicativo do forquilhamento da raiz.*

As raízes nunca penetram em solo adensado quando for seco e uma irrigação muitas vezes não consegue molhar o solo. Num ensaio em vasos, com adubação e irrigação idêntica, a água correu somente nas paredes do vaso onde se concentraram, também, todas as raízes como mostra a figura 2.14. Enquanto, no solo grumoso, ao lado esquerdo a água penetrou por todo volume do solo que, conseqüentemente, se apresentou bem enraizado.



Fig. 2.14 Diferença de enraizamento em solo grumoso e solo amorfo, sem estrutura

Estas camadas adensadas ou compactadas podem ser formadas pela pressão das máquinas agrícolas (46, 83, 149) mas geralmente ocorrem pela destruição dos grumos do solo por um manejo agrícola inadequado. (36, 38, 39, 44, 137)

Raney (1950) mostra a influência de rotação diferente e de uso de maquinaria diferente com variação de profundidade de trabalho.

Quadro 2.9 Taxa de difusão de oxigênio em várias profundidades do solo em dois sistemas de rotação cultural. (Raney, 1950)

Preparo do solo	pressão parcial de O ₂ no ar do solo em mg/Hg		densidade aparente g/cm ³		umidade do solo em % da capacidade de campo		taxa de difusão de oxigênio	
	A	B	A	B	A	B	A	B
trabalho até 10 cm								
subsolador	141	145	1,27	1,28	19,8	20,2	0,546	0,436
arado aiveca	141	145	1,28	1,32	20,0	19,9	0,639	0,568
arado disco	138	143	1,36	1,33	20,0	19,3	0,377	0,327
enxada rotat.	134	141	1,39	1,29	19,6	20,1	0,356	0,358
trabalho até 20 cm								
subsolador	137	142	1,32	1,34	21,0	19,7	0,428	0,308
arado aiveca	138	143	1,31	1,42	22,2	19,9	0,417	0,269
arado disco	121	131	1,40	1,33	21,3	19,3	0,279	0,215
enxada rotat.	121	131	1,48	1,45	21,0	20,0	0,209	0,226
trabalho até 30 cm								
subsolador	133	104	1,42	1,49	22,1	22,6	0,172	0,229
arado aiveca	133	134	1,45	1,47	22,6	22,5	0,176	0,149
arado disco	128	129	1,51	1,48	21,0	22,2	0,166	0,253
enxada rotat.	126	125	1,50	1,52	21,2	18,9	0,154	0,147

Observ.: A = rotação com grande quantidade de restos orgânicos.
B = rotação com poucos restos orgânicos

Verifica-se que a rotação com maior quantidade de restos orgânicos contribui somente à manutenção de uma estrutura mais favorável à circulação de ar quando for incorporada em pouca profundidade. Quando enterrada até 30 cm de profundidade, seu efeito é negativo. (vide capítulo VI)

A diferença entre as diversas máquinas é grande, especialmente quanto à densidade aparente do solo, tendo as máquinas revolventes de maior velocidade, como arado de disco e enxada rotativa, efeito pior (vide capítulo IX). Por isso, o uso da não lavração ou do preparo mínimo é sempre mais pesquisado. (50, 51, 52, 138, 139) O efeito é bom quando o solo tiver uma densidade aparente baixa. Porém, quando a densidade aparente for elevada, a aração mais profunda é a mais indicada. (81)

Quadro 2.10 Latossolo, fase arenosa, em que a lavração profunda teve o melhor resultado sobre a produção vegetal. (Leme, 1956)

prof. cm	densidade aparente	índice de tenacidade (I.T.%)
0- 5	1,65	0,93
5-15	1,65	0,63
15-30	1,44	1,54
30-70	1,46	1,09

Observ.: A vegetação neste solo era capim gordura (*Melinis minutiflora*).

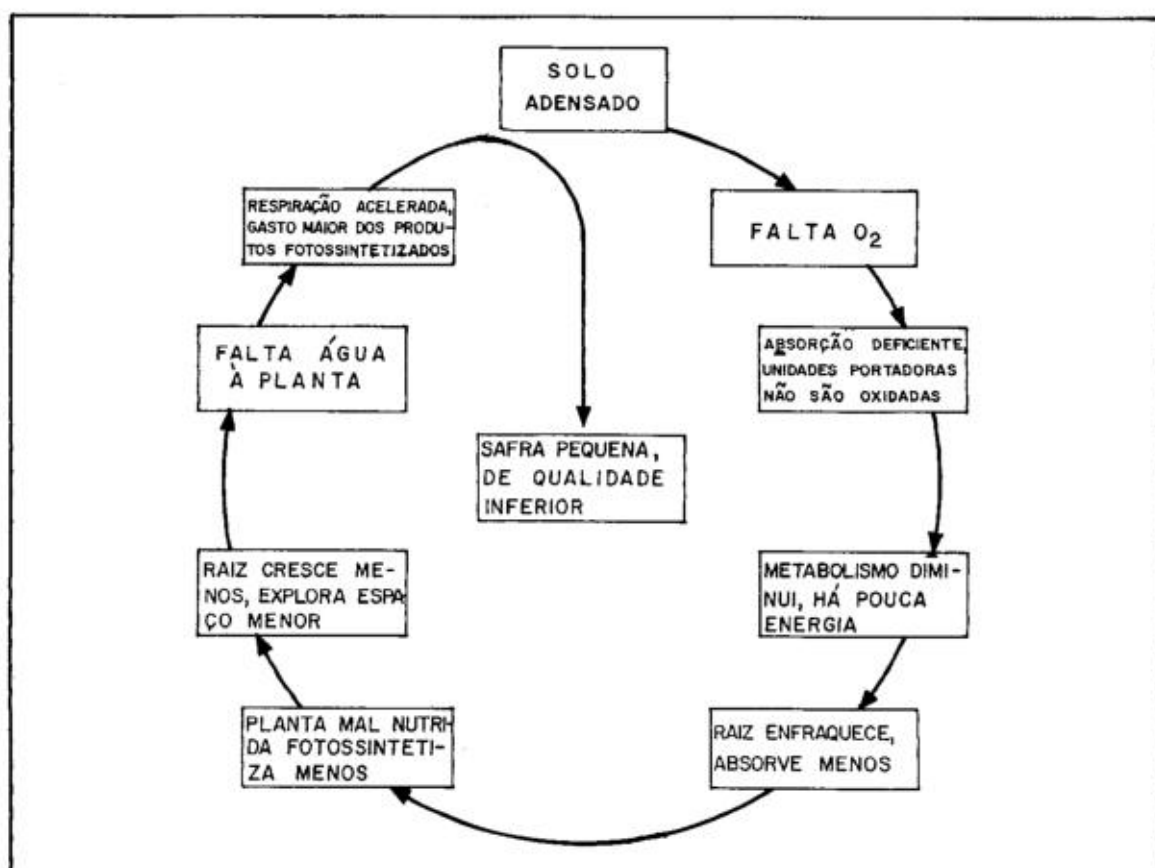


Fig. 2.15 O efeito do adensamento do solo sobre as condições de crescimento de uma planta.

Não é possível indicar um determinado tipo de plantio, para beneficiar o enraizamento do solo, sem levar em consideração a densidade aparente do solo ou seu índice de tenacidade (*shear strength*). *Não é da técnica que se necessita, mas necessitamos saber as condições do solo para saber qual das técnicas será a mais favorável.*

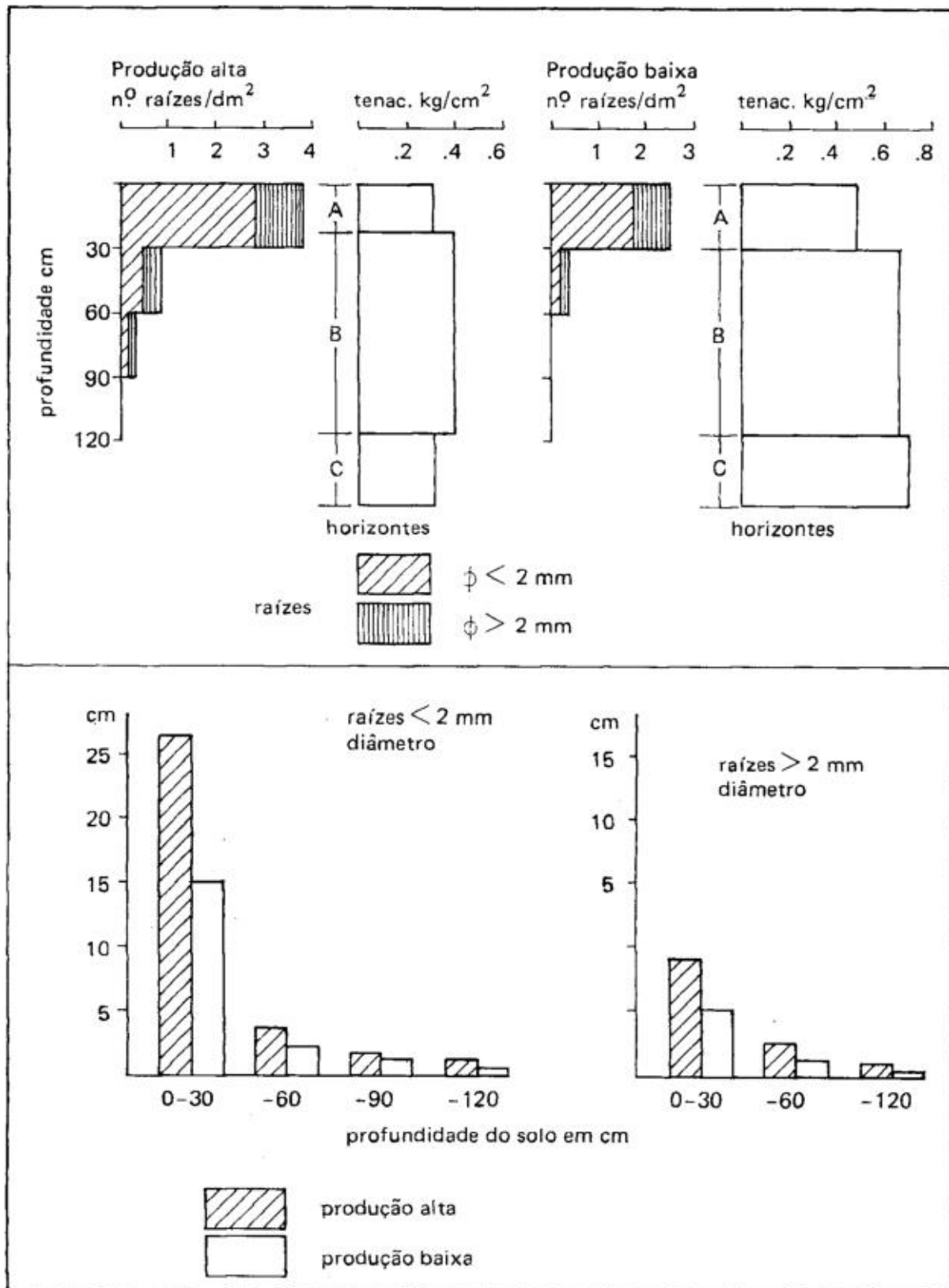


Fig. 2.16a Efeito da "tenacidade" do solo sobre número e diâmetro
2.16b das raízes do cacaueteiro e sua produção. (Cadima, 1970/71)

O solo adensado oferece um ambiente péssimo para a raiz vegetal que, na impossibilidade de se expandir, facilmente sofre da deficiência de água, ar e nutrientes. Na figura 2.15 reuniram-se todos os fatores que influem sobre a raiz e seu crescimento em solo adensado. Dificilmente poderia ser dito que um ou outro fator seria o mais decisivo. Nunca na vida existem fatores isolados mas somente fatores interligados, provocando um a modificação do outro, de modo que a maior densidade do solo provoca automaticamente a menor difusão de oxigênio (36, 54, 111), a menor disponibilidade de água (28, 46, 93, 112), o menor desenvolvimento radicular (7, 27, 35, 39, 53, 56, 57, 90, 99, 101, 115), à pior nutrição (103, 110, 130, 135, 146) e finalmente uma colheita reduzida. (46, 53, 103) Como não existem efeitos isolados em nossa economia, também na "economia" vegetal não existem efeitos isolados.

Nos trabalhos de Cadima (1970/71) pode se observar o efeito de adensamentos sobre o número e diâmetro das raízes e a produção do cacaueiro, como mostra a figura 2.16. Na medida que aumenta a tenacidade do solo (resistência ao corte), diminui o número e o diâmetro das raízes e diminui a produção do cacaueiro.

Este efeito da densidade do solo, induzida pelo manejo inadequado, pode ser esquematizado como na figura 2.17, mostrando que, com a perda do estado grumoso e fofo e a formação de adensamentos, o desenvolvimento radicular se torna cada vez menor, podendo produzir somente plantas pequenas (63) de pouco valor econômico.

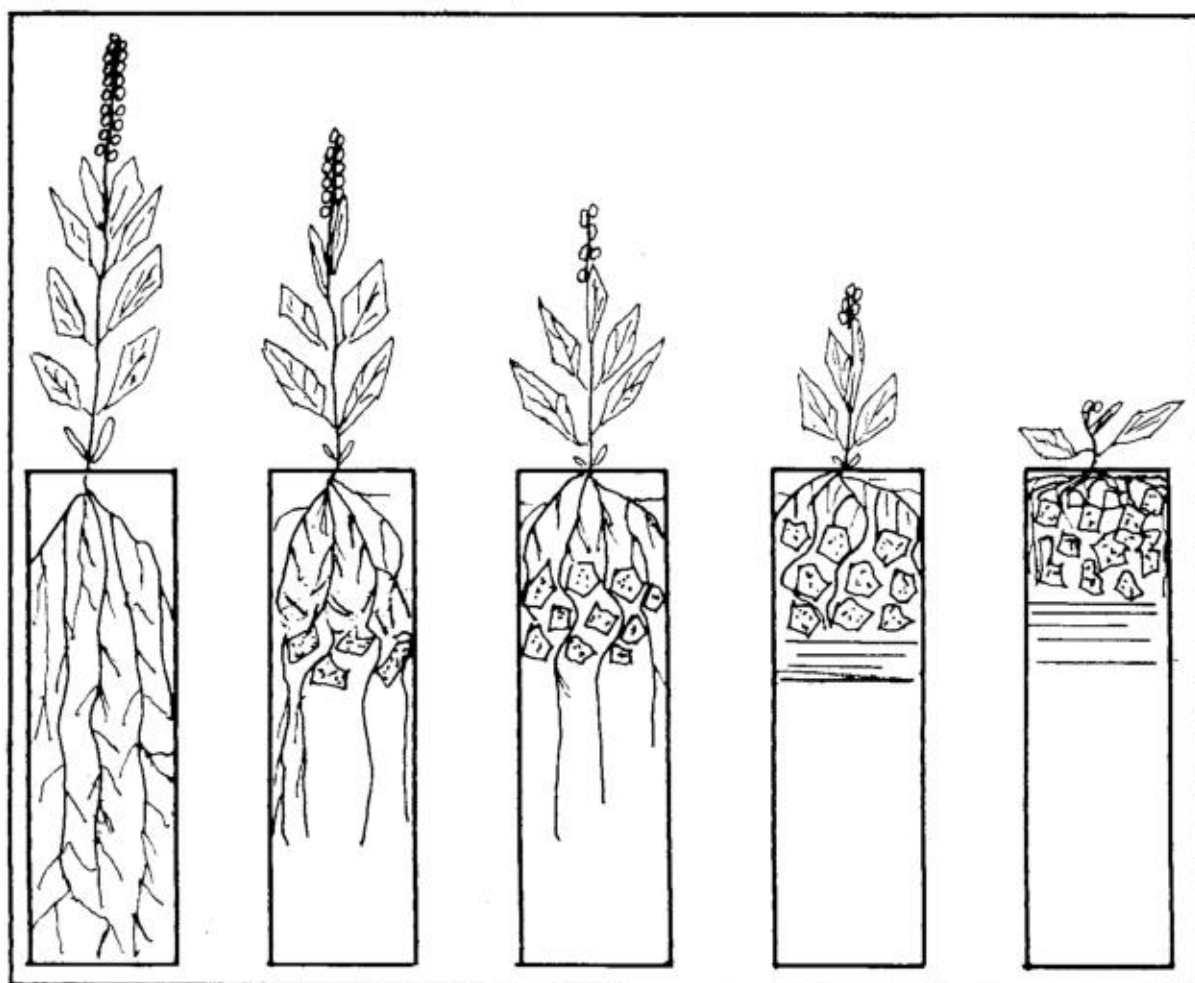


Fig. 2.17 Esquema do efeito de adensamento do solo sobre o desenvolvimento radicular e a produção vegetal.

A raiz é a base para que a planta possa produzir. Em solo adensado, onde seu desenvolvimento é reduzido, não consegue absorver a água e os nutrientes que a parte aérea necessita para poder produzir. O índice de uma absorção boa de água e nutrientes encontra-se na bioestrutura grumosa do solo. Em campos, onde as máquinas agrícolas levantam nuvens de poeira durante seu trabalho, onde houver erosão quando chover e onde se abrem rachaduras e fendas quando secos, as raízes serão reduzidas, retorcidas e finas. E, a produtividade está perdida. O solo já não reage mais, da maneira esperada, à adubação. (103, 104)

O tamanho dos agregados do solo, cuja densidade é desconhecida, não garante ainda um desenvolvimento radicular vigoroso, (58) por se tratar, muitas vezes, de pedaços de torrões e não de grumos. Somente quando são estáveis à ação da água contribuem para o melhoramento das condições radiculares. (vide capítulo VII)

Existem técnicas agrícolas, como o replante, que visa fortalecer o sistema radicular das plantas, como nas verduras ou no arroz. Porém, quando a densidade do solo for grande e as raízes encontrarem dificuldades no seu desenvolvimento, o efeito desta técnica é insignificante ou nulo. (59)

O adensamento e encrostamento dos solos não somente prejudica a expansão radicular, (24, 154) mas igualmente a emergência das plantas novas. (14, 60) Estas, em solos sem estrutura grumosa, muitas vezes, não conseguem romper a crosta superficial que a primeira chuva formou, e a falta na germinação nem sempre é devida à má qualidade da semente, mas freqüentemente também devido à má condição do solo. Deve-se distinguir entre o preparo muito bom do campo, pulverizando todos torrões e, entre estrutura grumosa. A primeira chuva acusa torrões pulverizados pelo encrostamento da superfície. Terra grumosa é resistente à água. Por isso, agregados muito grandes (> 7 mm) diminuem a capacidade de ar no solo. (12a) por serem instáveis.

O oxigênio no solo

Como mostra a figura 2.15 e o quadro 2.9, a taxa de oxigênio no solo depende intimamente de sua densidade aparente. A razão é que, durante o processo de adensamento, os primeiros poros a desaparecer são os macroporos, que justamente servem à ventilação. (56)

Para a capacidade de ar Feuerstack (1960) dá o seguinte esquema:

Quadro 2.11 *Teor em ar de diversos solos, medido na capacidade de campo. (Feuerstack, 1960)*

solo	prof. em cm	ar %
argiloso rico em cálcio	0-20	11,9
	20-47	3,5
	47-65	0,0
	65-80	1,9
solo argiloso humoso	0-20	18,9
	20-35	9,4
	35-47	10,3
	47-57	10,8
	57-80	11,8

solo hidromorf. arenoso	0-15	7,8
	15-33	7,4
	33-46	1,9
	46-54	9,1
	54-70	10,0
solo hidromorf. (pseudogley)	0-16	5,9
	16-28	0,5
	28-47	0,9

Este quadro mostra claramente um horizonte adensado nos dois primeiros solos após 20 cm de profundidade, no terceiro solo abaixo de 33 cm de profundidade e no pseudogley abaixo de 16 cm. Nestes horizontes com reduzidíssima taxa de ar, o enraizamento é praticamente nulo. (78a)

Um solo produtivo deve estar suficientemente arejado (21, 46, 95, 126, 141, 151), livre de substâncias tóxicas e provido adequadamente de água e nutrientes. A raiz absorve o oxigênio (O_2) e expira gás carbônico (CO_2). (111) Também os microrganismos que vivem na rizosfera, aproveitando-se das excreções radiculares, expiram CO_2 (vide capítulo VI), de modo que o ambiente logo estaria saturado de gás carbônico se não houvesse ventilação permanente. Para isso, necessita-se da circulação do ar, removendo o gás carbônico para fora do solo e substituindo-o por ar fresco, rico em oxigênio. (18, 82, 87, 111, 131) Mas, o ar somente pode circular nos poros livres de água, ou seja, nos dos quais a água se drena por força de sua gravidade.

Enquanto na atmosfera a concentração de CO_2 é somente de 0,03%, no ar do solo pode ascender a 1% e, em casos extremos, até 3%. (18) Quando um solo for bem agregado e grumoso, existe um número suficiente de poros de ventilação para garantir a oxigenação da raiz. (54, 78a, 116) Quando, porém, o solo se tornar compacto, com a diminuição dos poros de ventilação, que sempre são os primeiros atingidos, o CO_2 se acumula no solo e a raiz sofre seu efeito desfavorável. (33, 86) Gás carbônico não é tóxico para a raiz, pelo menos não o é em concentração até 3%. Mas o que prejudica seriamente é o anaerobismo que esta concentração provoca, uma vez que a maior concentração de CO_2 equivale a uma menor em oxigênio. (36, 122) Este anaerobismo se produz tanto em solo compacto ou adensado, como em solo encharcado, e também em presença de uma atividade microrgânica elevada. (vide capítulo VI) Assim, por exemplo, uma adubação verde, enterrada, tem uma decomposição explosiva, que ocorre facilmente em nosso clima. O resultado é que as bactérias se apoderam de todo oxigênio do ar do solo, expirando CO_2 , produto final de decomposição, criando com isso condições anaeróbias. Por tanto, condições anaeróbias podem ocorrer também em solo grumoso após a aplicação de adubação verde, de vinhaça ou qualquer outro produto de fácil decomposição.

Plantas que sempre vivem em ambiente anaeróbio, como arroz irrigado, o capim-arroz (*Echinochloa crusgallii*), juncos etc. possuem um sistema de ventilação que transporta oxigênio das folhas à raiz. (57)

A raiz absorve o oxigênio do solo em forma dissolvida na água. (99) Em clima tropical e subtropical a solubilidade de oxigênio é baixa devido à temperatura elevada. (25) Porém, a necessidade do mesmo aumenta, em consequência de uma respiração mais ativa. (94a) Devemos concluir que o abastecimento da raiz com oxigênio, provavelmente, deve ser maior que em clima temperado. O anaerobismo do solo cau-

sado pelo adensamento de sua estrutura torna-se, portanto, muito desfavorável para as culturas.

Quando, em lugar de uma respiração aeróbia, se processa uma respiração fermentativa, a planta produz álcool que também é excretado pelas raízes, (43) alterando a microflora na rizosfera. Assim, uma crosta superficial que impede a circulação de ar no solo diminui o rendimento da cultura (31) não porque a parte aérea da planta seja afetada, mas porque a raiz é seriamente prejudicada.

A proteção da superfície do solo contra o impacto da chuva torna-se imperiosa para o bem-estar radicular e a produção vegetal. (14, 60, 69, 80, 133, 134) Quando o anaerobismo for a consequência de uma drenagem deficiente do terreno, forma-se aldeído de salicila tóxico para a raiz vegetal mas inócuo para fungos como *Phytium arrhenomanew* que se multiplicam livremente, podendo atacar a raiz enfraquecida. (vide capítulo I) De modo, que em solos pobres de oxigênio a suscetibilidade das raízes a pestes parece ser maior. Ao mesmo tempo a planta tem de recorrer a uma respiração fermentativa ou anaeróbia na qual a liberação de energia é muito menor. O metabolismo, portanto, é desacelerado, a fotossíntese diminuída, a pressão osmótica da raiz é reduzida e com isso diminui seu potencial de absorção e mobilização de nutrientes. (41, 82, 86, 123, 132) A planta, portanto, é mal nutrida (82, 159), cresce menos e rende muito menos.

Na prática do campo vale a regra: "quando uma planta mostrar sinais de deficiência de quase todos os nutrientes, a falta de oxigênio no solo é quase certa." E solos com crostas superficiais e adensamentos sempre carecem de oxigênio. Haverá desenvolvimento deficiente da raiz. (53, 80, 99)



Fig. 2.18 Diferença de milho plantado no camalhão do terraço e no terraço com adubação idêntica. A estrutura do solo é diferente.

Também não se encontra explicação para as mudanças bruscas de vegetação em um solo com idêntica fertilidade, mesmo microclima e nível freático semelhante (7) a não ser através dos estados diferentes de oxigenação do solo.

Raramente existem plantas fortes com raiz fraca (56, 130) A responsável pelo desenvolvimento radicular deficiente, ao lado da falta de água, é a falta de oxigênio (17, 58, 102, 103, 107, 116, 133, 135, 154) e de nutrientes, que em conjunto, de uma maneira geral, ocorre em solos adensados.

Geralmente, suspeita-se da deficiência de nutrientes quando o desenvolvimento vegetal for fraco. A falta de nutrientes não afeta somente o vegetal acima do solo, mas igualmente a raiz no solo. Esta deficiência pode ser induzida pela compactação e adensamento ou pode ser real. No primeiro caso, uma adubação fará muito pouco efeito como mostra a figura 2.18; apresentando uma plantação de milho que recebeu adubação idêntica. A fileira de cima está plantada no camalhão do terraço e a de baixo no terraço, de onde a terra grumosa foi raspada.

A ABSORÇÃO DE NUTRIENTES E SEU EFEITO SOBRE A RAIZ

A absorção dos nutrientes depende:

1. das propriedades genéticas da planta.

Por exemplo, um variedade de trigo ou soja consegue absorver quantidades suficientes de cálcio de um solo ácido, enquanto que outra necessita de calagem e somente é capaz de absorvê-lo quando o encontra em maiores quantidades (6, 40);

2. da nutrição da planta e das condições de metabolização que dependem também da sanidade radicular e foliar;
3. dos fatores ambientais do solo, incluindo-se aqui as condições físicas e químicas, o pH, a temperatura do solo e a competição por parte de outras plantas. Assim, por exemplo, o algodão não absorve mais quando a temperatura do solo estiver abaixo de 17°C ou acima de 30°C;
4. do clima, que inclui luz, temperatura, precipitações e vento.

A raiz vegetal absorve em duas etapas. A primeira é por simples troca superficial, onde os cátions passam somente a parede radicular para o "espaço aparentemente livre" (AFS). Depois entram na raiz por via fisiológica. (33) Ânions e cátions acumulam-se na raiz segundo princípios diferentes. Mas de qualquer maneira necessitam parte das valências negativas da superfície radicular saturadas com cálcio, de um metabolismo ativo, que fornece estas valências negativas e uma pressão osmótica suficientemente alta. (32, 86)

Nas figuras 2.19 e 2.20 mostra-se a acumulação de cálcio radioativo (Ca^{45}) na casca de uma raiz bem como a esquematização do processo.

Se faltar cálcio, o plasmalema, ou seja, a parte interna da membrana celular perde sua semipermeabilidade e torna-se mais permeável ou "furada" (leaky) (61, 68), permitindo a entrada de ions, nutritivos ou não, conforme a sua quantidade no solo. A raiz perde sua seletividade, causando transtornos fisiológicos muito sérios à planta.

Esta seletividade pode ser demonstrada com maior facilidade no exemplo de algas que são seres unicelulares. Na figura 2.21 esquematiza-se a seletividade de duas algas, uma habitante de água doce, outra de água marinha.

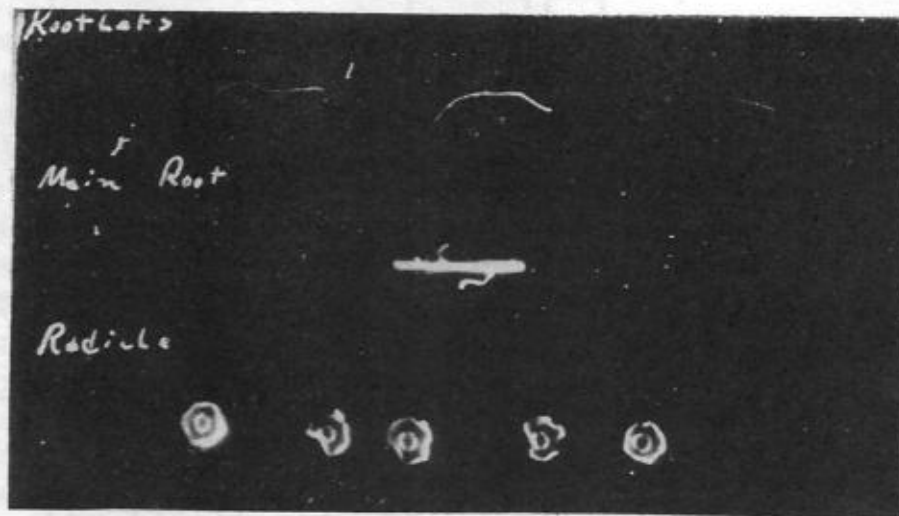


Fig. 2.19 Cálcio radioativo na casca radicular. (Gentileza H.C. Harris, 1973)

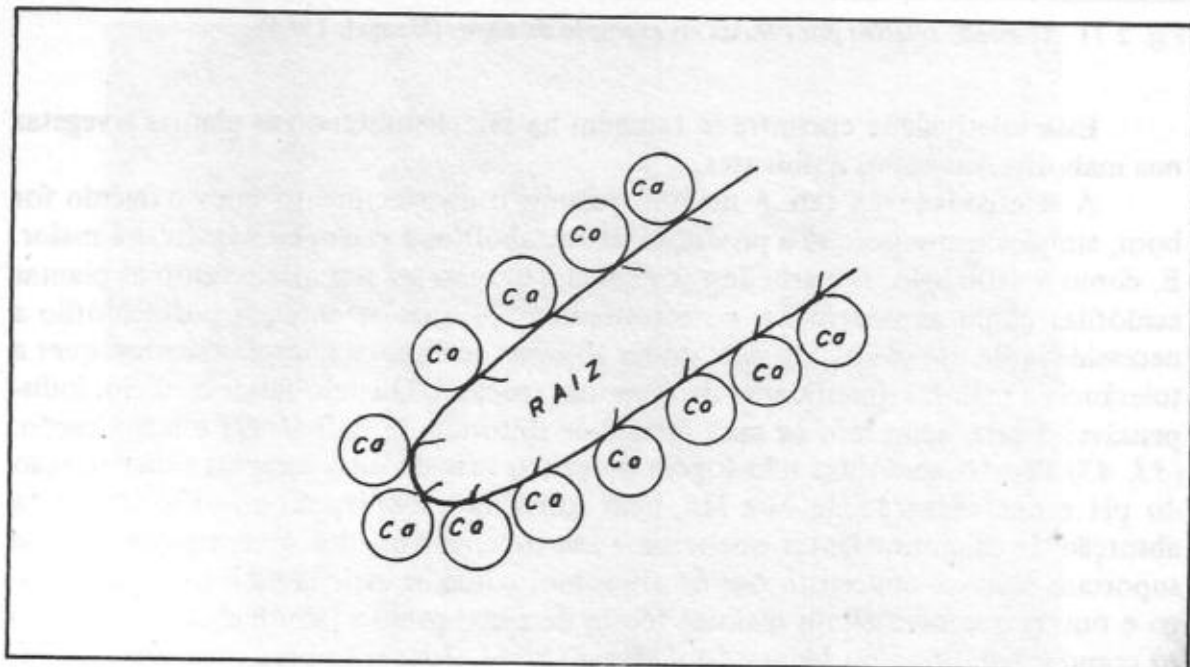


Fig. 2.20 Esquematização da adsorção de cálcio pelas valências negativas da raiz.

Observa-se que os níveis dos nutrientes na célula são semelhantes embora sua concentração fora da célula seja bastante diferente. Mesmo existindo pouco cloro na água doce, a acumulação na alga *Nigella* é apreciável. E apesar de existir muito sódio na água do mar, sua taxa na alga *Valonia* é baixa.

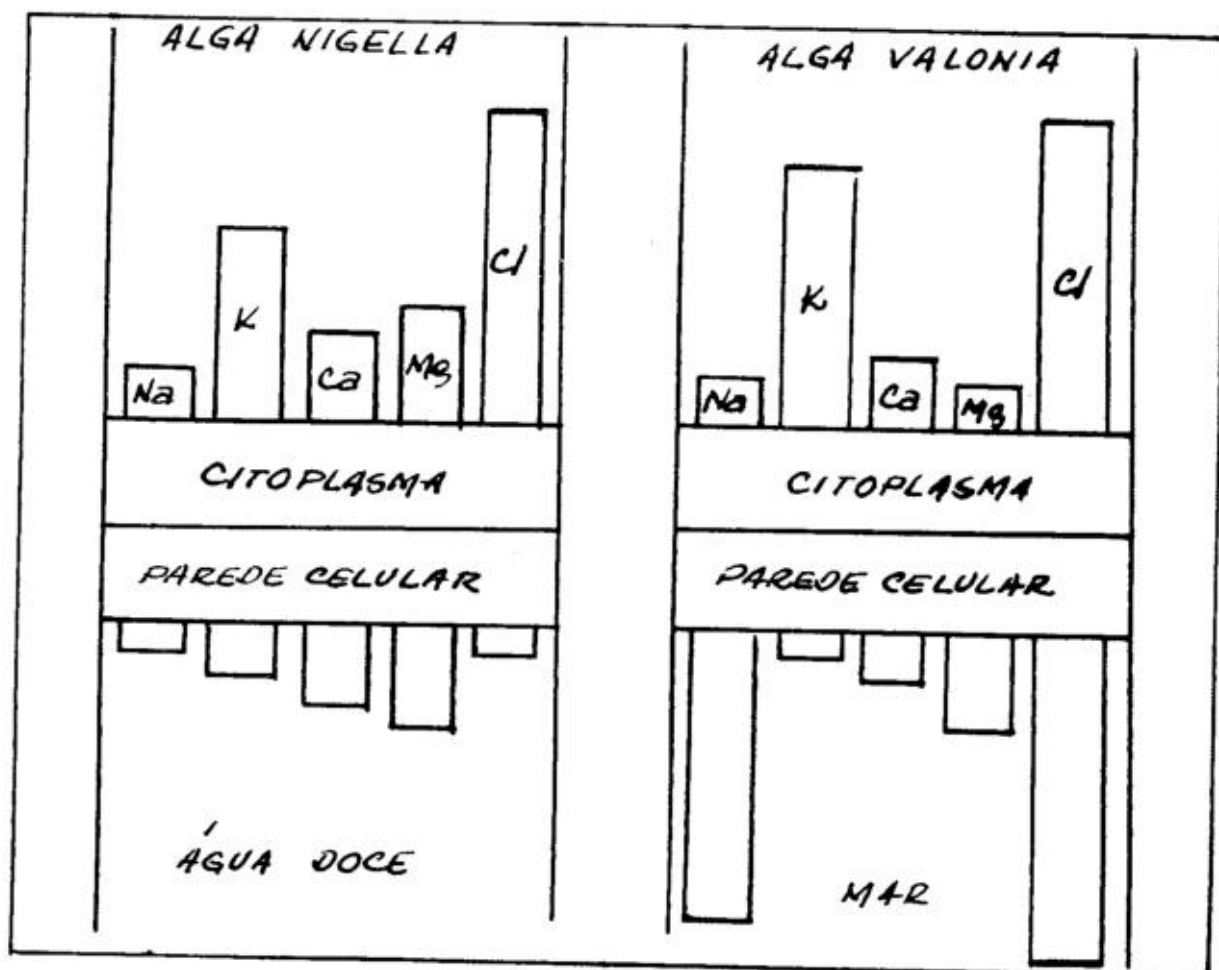


Fig. 2.21 Absorção seletiva por células no exemplo de algas. (Mengel, 1965)

Esta seletividade encontra-se também na raiz, habilitando as plantas a vegetar nos mais diversos meios ambientes.

A seletividade da raiz é melhor quando o abastecimento com oxigênio for bom, simplesmente porque a produção de metabolitos e valências negativas é maior. E, como a saturação de parte destas valências deveria ser por cálcio tanto as plantas acidófilas como as neutrófilas o necessitam. (32) quer se entenda por acidófilo a necessidade de um pH baixo, para poder absorver melhor os micronutrientes, quer a tolerância a maiores quantidades de alumínio trocável. Quando faltar o cálcio, indispensável à raiz, aparecem os mais estranhos sintomas de deficiência e intoxicação. (33, 45) Plantas acidófilas não fogem do cálcio mas de uma calagem e da correção do pH e neutralização de Al e Mn, bem como da imobilização ou dificuldade da absorção de micronutrientes essenciais a seu desenvolvimento. Existem plantas que suportam maiores concentrações de alumínio, como as variedades brasileiras de trigo e outras que necessitam maiores teores de zinco como a jabuticabeira, ou de boro como a batatinha ou batata doce, etc. (16, 44, 104) Também o cafeeiro, seringueira, teeiro, cacauzeiro e muitas outras plantas tropicais necessitam de cálcio mas são mais ou menos sensíveis a uma correção do pH, preferindo solos ácidos. (5,49) O cálcio, provavelmente, serve também para possibilitar a aproximação de fósforo, enxofre e N-nítrico, que são ânions. A maioria das plantas tropicais são sensíveis à falta de micronutrientes, porém podem viver em pH que oscilam muito, encontrando-se o extremo na seringueira que cresce bem num pH de 4,5 a 6,7 mas suporta pH de 3,0 até 8,0. (49)

Para o cafeeiro o pH ótimo encontra-se entre 4,0 e 6,0 (5) mas, como é *Rubiácea*, não somente tolera algum alumínio mas até pode acumular certa quantidade em suas folhas. (55)

Porém nenhuma planta tropical, por mais tolerante que possa ser à acidez, como, por exemplo, a teeira, dispensa cálcio. (49) Para garantir a mobilização deste nutriente em solos ácidos, a planta excreta certas substâncias que direta ou indiretamente são capazes de mobilizar nutrientes, (vide capítulo VI) (41, 76, 122) e, às vezes, mesmo de redes cristalinas. (17,41) Desta maneira uma planta bem nutrida consegue mobilizar mais nutrientes que uma mal nutrida, sem considerar ainda os microrganismos na rizosfera, rizoplane e os micorrizas, que em plantas bem nutridas são mais ativos e mais numerosos, mobilizando mais nutrientes.

Reconhece-se, pois, como condição básica de produtividade do solo seu abastecimento adequado com água, oxigênio e cálcio ao lado dos outros nutrientes.

Existem plantas que necessitam muito pouco oxigênio e cálcio, como cabelo-de-porco (*Carex spp.*) mas as de cultura, geralmente, necessitam um suprimento farto de ambos, como a maioria das variedades de soja ou algodão.

Ao lado de cálcio, cuja deficiência deixa as raízes curtas e grossas, (104, 128) os nutrientes que mais influem sobre o crescimento radicular são fósforo, nitrogênio, boro e enxofre. Há trabalhos que dizem que o fósforo não aumenta o crescimento radicular. Porém, como se necessita de fósforo para o crescimento, pode-se supor que também seja necessário para o crescimento da raiz.

A deficiência de boro é a que mais drasticamente reduz o volume radicular. Como mostra a figura 2.22. Cada segunda planta foi criada com omissão de boro sendo as raízes muito reduzidas.

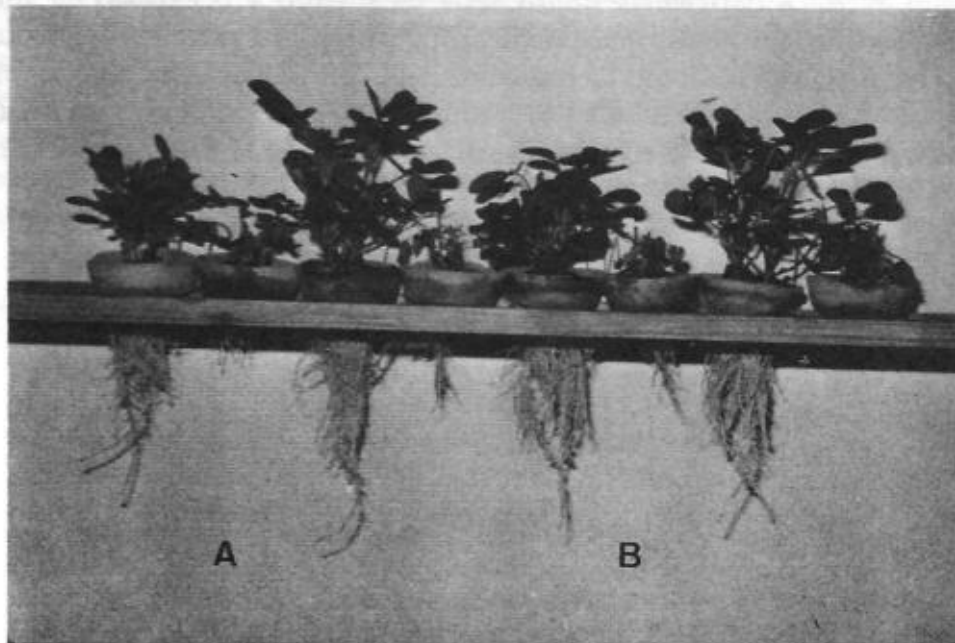


Fig. 2.22 O efeito da deficiência de boro sobre o crescimento radicular de amendoim. a) Com boro, b) Sem boro. (H. Harris, 1973)

Na deficiência de boro, raízes carnudas e tubérculos ficam desprovidos de amidos e carboidratos em geral e, portanto, dispõem de reduzidíssimo potencial de absorção. (16, 65, 128)

Na deficiência de enxofre as raízes se tornam mais fibrosas, compridas mas com poucas radículas. Geralmente são de cor escura, como mostra a figura 2.23. A planta provida com enxofre é muito maior com raízes abundantes e claras, por não encontrar dificuldade de absorção e formação de proteínas.



Fig. 2.23 O efeito da deficiência de enxofre sobre o desenvolvimento radicular. (H. C. Harris, 1973)

Muitas vezes, a deficiência muito séria de fósforo e o excesso de alumínio manifesta-se de maneira muito semelhante, (15) com folhas estreitas e descoloração purpúrea. Num ensaio feito em laboratório, pela compactação do solo apareceu a deficiência de fósforo e a toxidez de alumínio (161). No primeiro vaso à esquerda solo grumoso, no segundo, o solo do quarto de baixo do vaso é socado, o resto é



Fig. 2.24 Efeito da compactação do solo sobre o desenvolvimento de milho. 1) Solo grumoso, 2) 1/4 compactado, 3) 1/2 compactado, 4) totalmente compactado. (Watts, 1973)

grumoso. Neste vaso o milho está mais viçoso. Este efeito de camadas adensadas, quando a irrigação é esparsa, como aqui com 1 vez por semana, já foi observado por vários autores e utilizado no Israel para fazer o deserto produzir, colocando a 40 cm de profundidade uma camada impermeável. No terceiro vaso com metade do vaso com solo socado, o milho é mais fraco, amarelado e mais alto. No quarto vaso, com todo solo socado, o milho é menor, com folhas estreitas de cor púrpura.

(Veja também capítulo VIII)

Este ensaio demonstra que em solo adensado a planta sempre será mal nutrida e que a nutrição vegetal, ou seja, a presença dos nutrientes somente tem importância a partir do momento em que o problema do adensamento é resolvido.

A LOCALIZAÇÃO DO ADUBO E O DESENVOLVIMENTO RADICULAR

Embora em solo adensado a difusão dos nutrientes seja maior (72) e se poderia supor que a alimentação das plantas seria melhor, o volume radicular se reduz e com isso a possibilidade de absorção. (78) De modo que quando se trata do problema de adubação e do efeito dos nutrientes, se pressupõe que os problemas de água, ar e adensamento, como barreira física, sejam resolvidos. Caso contrário o efeito da adubação raramente será econômico.

É opinião generalizada que o nitrogênio reduz a extensão radicular. Porém, não existe raiz alguma que poderia existir sem nitrogênio. O que ocorre é que a localização do nitrogênio, perto da semente e da superfície, especialmente quando aplicado em cobertura, concentra as raízes ao redor do lugar de sua aplicação. Evita-se com isso a expansão da raiz, tornando a planta mais suscetível à seca, uma vez que a água à disposição, no volume do solo explorado, não aumenta com a adubação nitrogenada. O mesmo ocorre com o fósforo. (160) Este efeito é tanto maior quanto mais pobre o solo for. A concentração radicular na superfície pode tornar a cultura mais suscetível a capinas, (120) e à seca. Quando, porém, o adubo é posto abaixo da semente ou rolete e as raízes não se concentram na superfície, como ocorre nos canaviais, cada escarificação do solo equivale a um arejamento, beneficiando a produção.

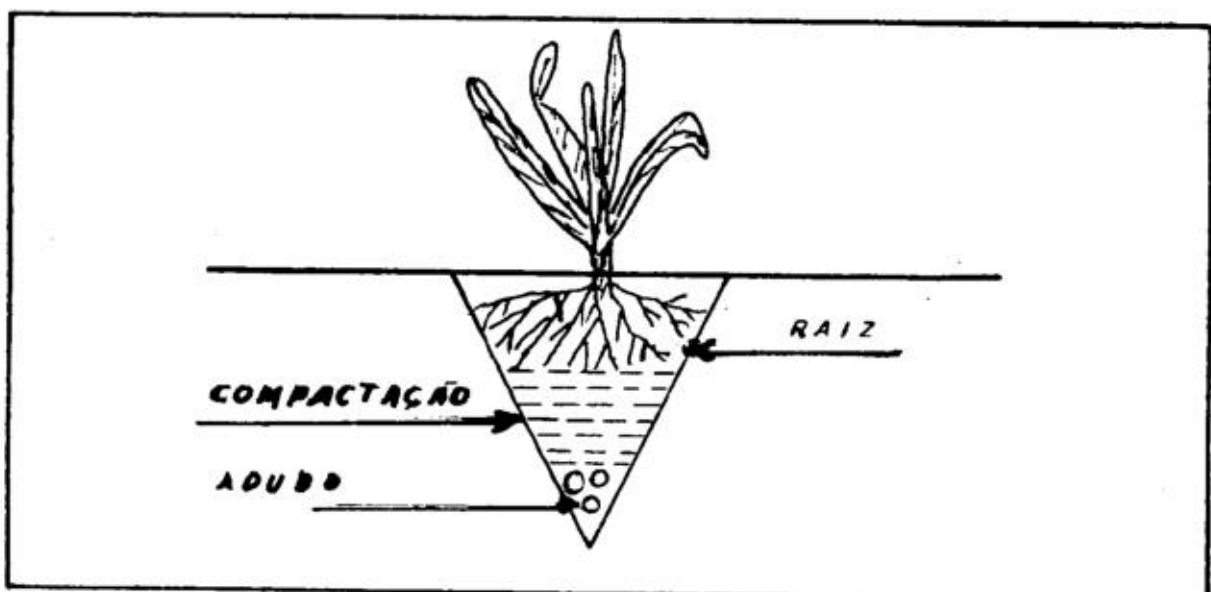


Fig. 2.25 Efeito da localização profunda do adubo em solo de estrutura instável à água.

De maneira alguma deve haver generalização na localização do adubo. Quando este for colocado profundamente no solo, como ocorre nas culturas de cana-de-açúcar ou de batatinha, a raiz somente segue para a maior concentração de nutrientes, penetrando em maior profundidade, quando o solo for grumoso. No caso de uma estrutura instável à água, a primeira chuva inicia a formação de uma camada adensada, que se forma acima da sola do arado, separando o adubo da planta, pondo-o fora de alcance da raiz, como mostra a figura 2.25. Desta maneira obriga-se a raiz a crescer sem adubo, e, como a umidade abaixo de camadas é menor, este adubo nem se dissolve, podendo ser encontrado intato ainda após a colheita.

EFEITO DO ESPAÇAMENTO SOBRE O TAMANHO DA RAIZ

Mas não somente a localização do adubo possui influência sobre o desenvolvimento radicular, também o espaçamento especialmente entre as plantas congêneres. (145) E todos sabem que com o espaçamento maior a planta aumenta ao ao mesmo tempo seu sistema radicular, o que é apresentado no quadro seguinte.

Quadro 2.12 *Desenvolvimento radicular em função de espaçamento (total das raízes) (Walter, 1947)*

cultura	plantas individuais 3 m de distância	plantas em linhas de 15 cm de distância
centeio	79 031 m	975 m
trigo	71 111 m	867 m
aveia silvestre	86 334 m	977 m

Em plantio consorciado, o efeito da raiz de outra espécie nem sempre influi de maneira desfavorável sobre o desenvolvimento radicular. Muitas vezes as raízes de espécies diferentes formam uma trama espessa, podendo enraizar o mesmo espaço de solo. (1, 79, 147) Este sistema permite o desenvolvimento de plantas enormes, como as árvores da hiléia amazônica, mata fechada em solo pobre. Sabe-se que em 1 ha de mata virgem raramente existem mais que três exemplares de uma espécie de árvores (Vide capítulo X.)

Porém, nem todas as raízes são limitadas da mesma maneira por algum destes fatores anteriormente discutidos. Adensamentos, oxigênio, água e nutrientes limitam o desenvolvimento radicular conforme a espécie e variedades e seu potencial radicular.

O POTENCIAL DA RAIZ

Criam-se culturas com potencial de produção cada vez maior, mas esquece-se que uma variedade produtiva é variedade exigente. (19) Não é suficiente plantar uma cultivar mais produtiva e adubar como de costume. As cultivares mais produtivas, geralmente, possuem raízes mais fracas, menos potentes e necessitam, de solos melhor estruturados, com arejamento bom, água facilmente disponível, ausência de substâncias tóxicas e presença de todos os nutrientes essenciais, em quantidade maior.

Produtivo significa que a planta consegue absorver e metabolizar mais substâncias em menos tempo. Mas para poder fazê-lo, ela necessita de tudo à sua fácil disposição e isso sem interrupção da absorção por seca ou estagnação de água ou temperaturas muito elevadas. Exige que todos os fatores de produção estejam no ótimo.

A “lei do mínimo” hoje ainda vale e, se um único fator da produção for deficiente, como, por exemplo, o oxigênio no solo, toda produção será baixa. O problema é: preparar o ambiente para a raiz, a parte aérea acompanha-la-á.

Mas a rusticidade da raiz não somente é diferente entre as variedades, como será mostrado no capítulo VIII, mas também entre as culturas. Assim, nos cereais o trigo é o mais exigente, sendo seguido do milho e este do sorgo.

Nos EUA considera-se a cevada como cereal mais exigente, com o sistema radicular mais fraco, sendo seguido do trigo e este do centeio. Isso significa que terra, que não presta mais para o trigo, ainda pode dar aveia ou centeio bom.

Entre nós, terra que não serve mais para trigo ainda dá um milho bom e a que não serve mais para milho dá ainda um sorgo excelente. Nem todas as raízes possuem o mesmo poder de penetração, nem de mobilização, nem de absorção. Há umas que racham pedras e outras que somente avançam em areia. Há raízes que mobilizam nutrientes até da rede cristalina de minerais e outras que necessitam tudo em abundância em forma solúvel. Assim existem culturas que conseguem medrar em solos que seriam altamente desfavoráveis para outras. Assim Scheffer (1955) dá uma relação aproximada do potencial radicular de algumas plantas de cultura, que, porém, varia segundo as variedades utilizadas.

Quadro 2.13 *Potencial de mobilização de nutrientes pela raiz de culturas agrícolas. (Scheffer e Welte, 1955)*

cultura	potencial radicular
cevada (<i>Hordeum L.</i>)	muito pequeno
trigo (<i>Triticum L.</i>)	pequeno
aveia (<i>Avena sativa L.</i>)	pequeno
centeio (<i>Secale cereale L.</i>)	médio
milho (<i>Zea mays L.</i>)	médio
batata inglesa (<i>Solanum tuberosum</i>)	grande
mostarda (<i>Sinapis arvensis</i>)	grande
girassol (<i>Helianthus annuus</i>)	muito grande
alfafa (<i>Medicago sativa</i>)	muito grande
sorgo (<i>Sorghum vulgare</i>)	muito grande
trigo-mourisco (<i>Fagopyrum esculentum</i>)	muito grande

Aparentemente algodão está entre as culturas de pequeno potencial radicular, enquanto o arroz está entre as de potencial muito grande.

Segundo o potencial radicular, organizam-se as rotações de cultura como, por exemplo, algodão-milho-sorgo. Porém, no fim da rotação deve entrar uma cultura que recupere o solo, como leguminosas e gramíneas de porte pequeno.

Especialmente as leguminosas possuem um poder muito grande de mobilizar fósforo (19, 69) como kudzu (*Pueraria phaseoloides*), feijão-miúdo ou “cowpea” (*Vigna sinensis*), mucuna (*Stizolobium spp*), guandu (*Cajanus spp*) e outras. Além disso elas ainda fixam nitrogênio atmosférico.

Gramíneas de porte pequeno, ou seja, forrageiras que conseguem “fechar” o chão, como capim-pangola, capim-estrela, capim-Mato Grosso (*Paspalum notatum*

var.), *Brachiaria* e o., quando convenientemente manejadas, mas especialmente quando usadas para ceifa, conseguem melhorar a estrutura do solo e com isso tornar os nutrientes mais disponíveis. (161) Parece, pois, que o potencial de mobilização depende muito das excreções radiculares (41, 123), da microflora trófica (vide capítulo VI) e da pressão osmótica da raiz. (122)

Por último, podem existir substâncias tóxicas no solo que podem prejudicar o desenvolvimento radicular e antes ainda seu potencial de absorção.

ALUMÍNIO TÓXICO NA RIZOSFERA

A acumulação de alumínio em quantidades tóxicas abaixo da camada adensada (46, 80) ou no solo, não atingido pela calagem, (8, 9) faz com que muitas plantas não consigam desenvolver suas raízes nestas camadas. (117, 118) Mas sabe-se igualmente que a toxidez de alumínio tende a decrescer com o aumento da saturação do complexo de troca com outros cátions. (18, 89)

No Brasil já existem muitas variedades adaptadas a conviver com concentrações maiores de alumínio, como quase todas de trigo, várias de soja, milho etc. Na figura 2.26 mostra-se o comportamento de 5 variedades de trigo brasileiro contra 4 variedades de trigo mexicano (oriundas de solos neutros a alcalinos) em solos com saturação variável de alumínio.

Além da tolerância a maiores saturações da CTC com alumínio, muitas raízes desenvolvem seu mecanismo de defesa. Assim, algumas raízes conseguem armazenar o alumínio na raiz, protegendo a parte aérea de maiores concentrações. (157, 162) Outras excretam substâncias que aumentam o pH em volta, precipitando o alumínio tóxico no solo. (155, 156)

A saturação da CTC com alumínio suportada pela cultura, varia de espécie a espécie e de cultivar a cultivar. A cevada, geralmente, não suporta uma saturação maior do que 5%, enquanto o trigo brasileiro já não se beneficia com uma saturação menor do que 46%. (117, 89)

A maioria das culturas tropicais não é muito sensível ao alumínio trocável, suportando ao redor de 36 a 46% de saturação.

As plantas sensíveis a concentrações maiores de alumínio, que, portanto, se tornam tóxicas para elas, têm seu sistema radicular drasticamente reduzido, bem como a permeabilidade deste, (156) e a divisão celular inibida. Em casos graves ocorre a plasmólise das células radiculares e as plantas murcham. Porém, a presença de alumínio trocável não implica, necessariamente, na deficiência de fósforo. (159)

RESUMO

O desenvolvimento radicular e, com ele, a nutrição e o rendimento vegetal, além de fatores genéticos e climáticos, depende da bioestrutura grumosa do solo e dos fatores que dali resultam, como um abastecimento adequado de água e ar, a fácil disponibilidade de nutrientes e a ausência de substâncias tóxicas. A sanidade radicular é imprescindível. A localização do adubo e as técnicas agrícolas influem sobre o desenvolvimento radicular e, portanto, devem ser usadas em consideração do bem-estar da raiz, do qual depende, em grande parte, o metabolismo rápido do vegetal e sua produção.

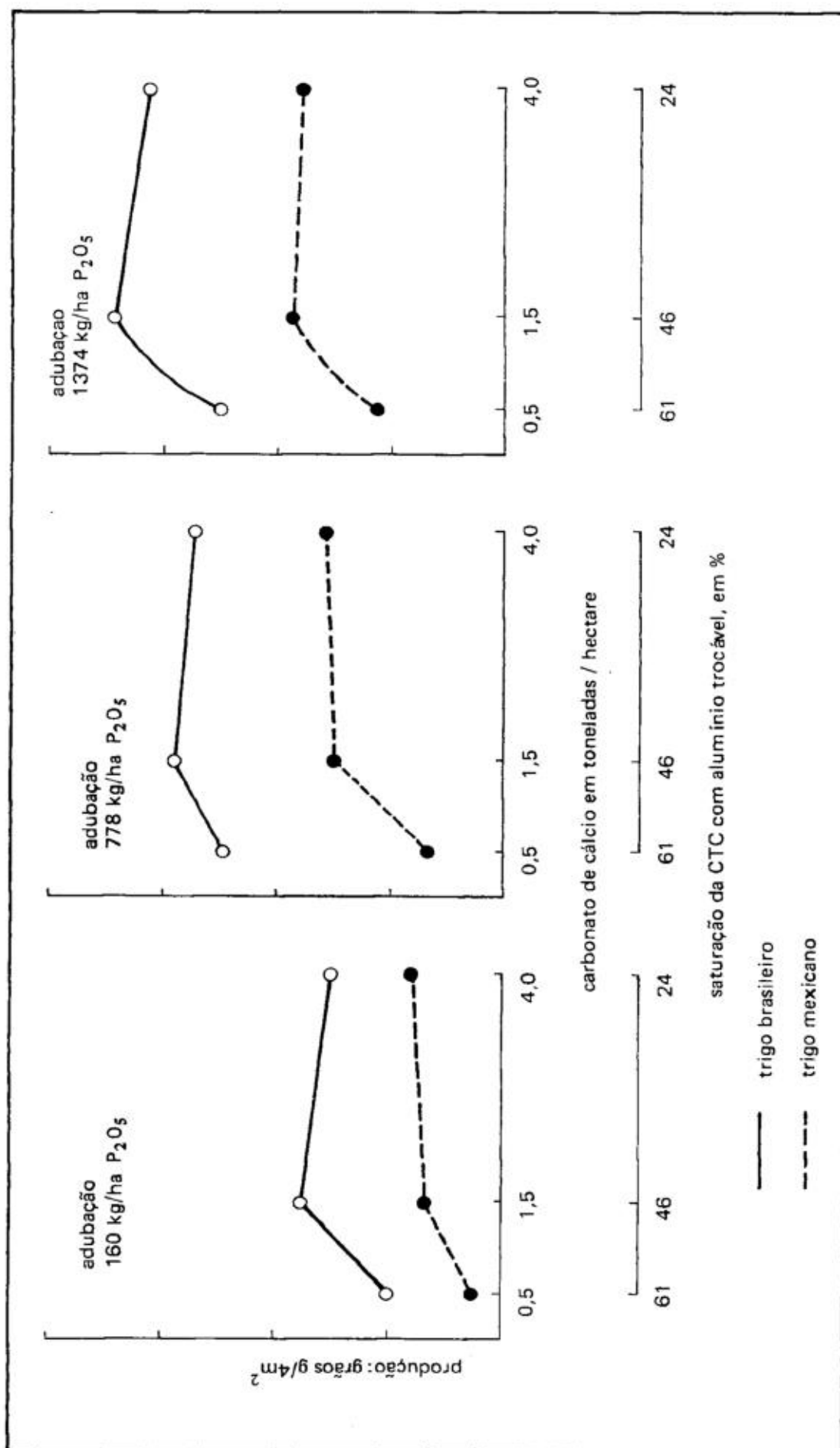


Fig. 2.26 Efeito da calagem e da saturação do complexo de troca com alumínio sobre o rendimento de trigo, adaptado e não adaptado a solos ácidos. (Salinas, 1975)

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Aichinger, E. -1951- *Angewandte Pflanzensoziologie*, 1:1-56.
2. Almeida, D'A, L. de; E. A. Bulisani, S. Myasaka e. o. -1975- Efeito da incorporação de massa vegetal, da adubação e do espaçamento na produção do feijoeiro. *Bragantia*, 14 (único):XLIII-XLVII.
3. Alderich, D. G; E. R. Parker e H. D. Chapman, -1945- Effect of several nitrogeneous fertilizers and soil amendmets on the physical and chemical properties of an irrigated soil. *Soil Sci.* 59:299-312.
4. Amaral, F. A. L; L. M. Oliveira, de; J. D. Galvão e C. Vieira, -1977- Localização de fertilizantes na cultura do feijão. *An. XIII Congr. bras. ciência solo*, Vitória, p 162.
5. Amorim, H. V. de; L. C. Scoton; H. P. Haag e E. Malavolta, -1968- Estudos sobre alimentação do cafeeiro. XX: Efeito da variação do pH no desenvolvimento e composição química do cafeeiro (*Coffea arabica* L. var. *Mundo Novo*). A. E. S. A. "Luiz Queiroz" XXV:121-34.
6. Arminger, W. H. e. o. -1968- Different tolerance of soybean varieties to an acid soil high in exchangeable aluminium. *Agron. J.* 60(1):67-70.
7. Askew, G. P; D. J. Moffet; R. F. Montgomery e P. L. Searly, -1971- Soils and soil moisture as factors influencing the distribution of the vegetation formation of the Serra do Roncador. *III Simpos. Cerrado, USP, São Paulo*, pp 150-60.
8. Bandy, D. E. e R. B. Musgrave, -1975- Agronomic-economic research on tropical soils. *Ann. Rep. ed. US Agency Int. Developm.*
9. ----- e -----, -1975- Management of water stress periods. *Ann. Rep. ed. US Agency Int. Developm.*
10. Baumgartner, A. -1953- Das Eindringen des Lichtes in den Boden. *Forstwiss. Cbl.* 72: 171-84.
11. Batey, T. -1973- Uso e manejo do solo tropical. No: *Curso de Pós-Grad. Biodin. Produt. Solo, UFSM/RGS*.
12. Baver, L. D. -1968- The effect of organic matter on soil structure. *Scient. Varia*, 32: 383-413.
- 12a. -----, -1956- *Soil Physics*. 3 ed Wiley, New York.
13. Bellini, K. -1954- Entwicklung und probleme des Dränversuches unter besonderer Berücksichtigung des Ertragsversuches. *Mitt. Inst. Wasserwirt. u. Landwirt. Wasserbau: T. H. Hannover*.
14. Bennett, O. L; D. A. Ashley e B. D. Doss, -1964- Methods of reducing soil crusting to increase cotton seedling emergence. *Agron. J.* 56:162-65.
15. Bergmann, W. e P. Neubert, -1976- Pflanzendiagnose und Pflanzenanalyse. *Fischer, Jena*.
16. Betoni, J; F. Lombardi Neto e B. Benatti Jr. -1976- Estudo, em lisímetros monolíticos, de perdas de água e evapotranspiração em três tipos de solos sob diferentes condições de uso. *Bragantia*, 35(12):123-45.
17. Bezerra, L. O. de -1967- Estrutura física do solo e a aplicação racional de técnicas conservacionistas. *Bol. Téc. 9; Pesq. agropec. bras. Vol. 2*.
18. Black, C. A. -1968- Soil-Plant relationship. *Wiley, New York*.
19. Blanchet, R. -1972- Fertilizer use and ecological factors. *Science. Varia*, 38:363-88.
20. Brooks, R. R. -1968- Bio-Chemical prospecting in New Zealand. *N. Zealand Sci. Rev.* 26:9-12.
21. Buchholz, F. -1960- Beiträge zur Dynamik chemischer Grundwassereigenschaften und zum Bodenfeuchtigkeitsverlauf in Grundwasserbeeinflussten Sandböden unter Waldbestockung. *Tese, Univ. Eberswalde*.
22. Burstrom, H. -1953- Studies of growth and metabolism of roots. *Physiol. Plantarum*, 6:260-276.
23. Caballa, R. P; E. R. Miranda, de; M. B. M. Santana e C. J. L. Santana, -1975- Exigências nutricionais e fertilização do cacaueiro. *CEPLAC, Bol. Téc. Nº 30*.
24. Cadima, A. Z. e P. T. Alvin, de. -1970/71- A oscilação do lençol freático e a produção do cacaueiro. No: *CEPEC, Inf. Téc.*: 118-119.
25. Cannon, W. A. -1949- A tentative classification of root systems. *Ecol.* 30/4.
26. Clark, F. E. -1949- Soil microorganisms and plant roots. *Adv. Agron.* 1:245.

27. Cerney, V. -1966- Alteration of physical state of soil and its effect on plants. *Sb. Ref. mzin. Véd. Symp. Brné*, pp 77-91.
28. Cogo, N. P. e M. Guerra, -1977- Umidade do solo e rendimento das culturas em experimentos em casa de vegetação. I: sorgo (*Sorghum vulgare*) em solos Vertissol, Latossol roxo distrof. e podzólico verm. amar. *XVI Congr. bras. ciência solo, São Luís*, p 23.
29. Dittmer, H. J. -1937- a quantitative study of roots and root hairs of a winter rye plant (*Secale cereale*). *Am. J. Bot.* 24:417-20
30. Donahue, R. L.; J. C. Schickluna e L. S. Robertson, -1971- Soils, an introduction to soils and plant growth, 3 ed, *Prentice Hall, New Jersey*.
31. Duley, F. I. -1939- Surface factors affecting the rate of intake of water by soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 4:60-64.
32. Epstein, E. -1962- Mutual effect of ions in their absorption by plants. *Agrochim.* 6:293-322.
33. - - - - - , -1972- Mineral nutrition of plants; principles and perspectives. *Wiley, New York - London*.
34. Edwards, W. M. e W. E. Larson, -1969- Infiltration of water into soils as influenced by surface seal development. *Transact. ASAE* 12:463-65 e 470.
35. Ferreira, S. L. da; C. P. Pereira e A. A. O. Melo; -1977- Efeito da compactação do solo no desenvolvimento de plântulas de cacau (*Theobroma cacao* L.) e na penetração das raízes. *Rev. Theobroma*, 7(1):13-9.
36. Feuerstack, W. -1969- Bodenkundliche Kennzeichnung schwerer Böden zum Zwecke der Beurteilung ihrer Bewirtschaftungsunterschiede. *Tese, Univ. Hohenheim*.
37. Flaig, W. e K. Haider. -1961- Reaktionen mit oxydierenden Enzymen aus Mikroorganismen. *Planta médica. Z. Arzneipfl. Fschg.* 9:123-39.
38. - - - - - , -1968- Uptake of organic substances from soil organic matter by plants and their influence on metabolism. *Scient. Varia*, 32:723-70.
39. Fox, F. L.; J. E. Weaver e R. C. Lippe, -1953- Influence of certain soil characteristics upon distribution of roots of grasses. *Agron. J.* 45 (12):583-89.
40. Foy, C. D.; W. H. Armingier; A. L. Fleming e C. F. Lewis, -1967- Differential tolerance of cotton varieties to an acid soil high in exchangeable aluminium. *Agron. J.* 59:415-18.
41. Frenzel, B. -1957- Zur Abgabe von Aminosäuren und Amiden an das Nährmedium durch Wurzeln von *Helianthus annuus*. *Planta*, 49:210-16.
42. Fukuda, H. -1955- Air and vapor movement in soil due to wind gustiness. *Soil Sci.* 79: 249-56.
43. Fulton, F. e H. Erikson, -1964- Em: Mengel, 1965, Ernährung und Stoffwechsel der Pflanze. *Fischer, Jena*.
44. Gauch, H. G. e W. M. Dugger, -1953- The role of boron in the translocation of sucrose. *Plant Physiol.* 28:257-73.
45. Geisler, G. -1968- Über den Einfluss von Unterbodenverdichtungen auf Luft und Wasserhaushalt des Bodens und auf das Wurzelwachstum. *Landw. Forsch. Sonderh.* 21:61-69.
46. Gill, W. R. -1971- Economic assessment of soil compaction. Em: Barnes, Compaction of agricultural soils. ed. *Amer. Soc. Agric. Engin. St. Joseph, Michigan*.
47. Glauser, R. e H. Jenny, -1960- Two phase studies on availability of iron in calcareous soils. *Agrochim.* 4:263-71.
48. Glimeroth, G. -1952- Wasserhaushalt des Bodens in Abhängigkeit von der Wurzel Ausbildung einiger Kulturpflanzen. *Z. Acker - u. Pflanzenb. Berlin*, 95:1-10.
49. Geus, J. G. de -1973- Fertilizer Guide for the Tropics and Subtropics. *Centre d' Étude de l' Azote, Zürich*, pp 531-69.
50. Goepfert, C.F. -1974- Avaliação de métodos de preparo do solo para a cultura de soja. *An. II Reun. an. conj. pesq. soja, Porto Alegre*, p 7.
51. - - - - - , -1976- Preparo do solo na cultura da soja. I *Sem. integr. pesq. agropec. e extens. Porto Alegre*, p 132-38.
52. Gomes, A. S.; J. F. Patella e E. A. Pauletto, -1977- Efeitos de sistema e tempo de cultivo na estrutura de um solo podzólico vermelho amarelo. *XVI Congr. bras. ciência solo. S. Luiz*, p 14.
53. Görbing, J. -1944- Die Grundlagen der Gare im praktischen Ackerbau. *Landbuchverlag Hannover*.
54. Gordon, M. -1955- Das Porenvolumen von Torfmull. *Torfnachricht.* 6:5-6.

55. Goodland, R. -1971- Oligotrofismo e alumínio no cerrado. *III Simpos. Cerrado, Edit. USP, São Paulo.*
56. Grable, A. R. e E. G. Siemer -1968- Influence of bulk density, aggregate size and water tension on oxygen diffusion, redox potential and longitudinal growth of corn roots. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 32(1):180-86.
57. Greenwood, D. J. -1969- Effect of oxygen distribution in the soil on plant growth. Em: Root growth, de W. J. Wittington, *Butterworth, London.*
58. Grohmann, F. -1967- Efeito e tamanho de agregados sobre o crescimento e sistema radicular de milho. *Agrônomo, 19:4-27.*
59. Guimarães, G. e R. Inforzato, -1973- Desenvolvimento do sistema radicular de arroz semeadado diretamente e plantado por mudas, em duas séries de solo do Vale do Paraíba.
60. Hanks, R. J. -1960- Soil crusting and seedling emergence. *7th Congr. Soc. Soil Sci. Trans.* 1:340-46.
61. Hanson, J. B. -1960- Impairment of respiration, ion accumulation and ion retention in root tissue treated with ribonuclease and ethylene - diamine tetraacetic acid. *Plant Physiol.* 35:372-79.
62. - - - - - , e O. Biddulph, -1953- The diurnal variation in the translocation of minerals across bean roots. *Plant Physiol.* 28:356-70.
63. Harris, H. C. -1973- Polígrafos sobre: Micronutrientes e sua influência sobre o "root-shoot ratio". *C. Pós-Grad. Biodin. Produt. Solo, UFSM/RGS.*
64. Harris, W. L. -1971- The soil compaction process. Em: Compaction of agricultural soils, de Barnes, K. K. . *Soc. Agric. Engin. Basselman, St. Joseph, Michigan.*
65. Haynes, J. L. e W. R. Robbins, -1948- Calcium and boron as essential factors in the root environment. *J. Amer. Soc. Agron.* 40:795-801.
66. Hoagland, D. R. -1944- Lectures on the inorganic nutrition of plants. *Chron. Botanica, Co. Waltham, Mass.*
67. Inforzato, R. e H. A. A. Mascarenhas, -1969- Estudo do sistema radicular de soja (*Glycine max. (L) Merrill.*) em solo latossólico roxo adubado e sem adubo. *Bragantia, 28(13): 75-80.*
68. Jacobson, L; D. P. Moore e R. J. Hannapel, -1960- Role of calcium in absorbtion of monovalent cations. *Plant Physiol.* 35:352-58.
69. Jordan, H. V; S. P. Crocket e C. E. Bardshy Jr. -1956- Some effects of kudzu versus continuous corn on soil properties and crop yields. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 20(2):225-27.
70. Klapp, E. -1954- Ertrag von Pflanzengesellschaften in Beziehung zu Grundwasser und Nährstoffversorgung. *Ztrbl. Vegetations Kart. Stolzenau, N° 8*
71. - - - - - , -1956- Wiesen und Weiden, *3 ed Parey, Berlin-Hannover.*
72. Kemper, W. D; B. A. Stewart e L. H. Porter, -1971- Effects of soil compaction of agricultural soils. Em: Compaction of agricultural soils, de Barnes, K. K. *Amer. Soc. Agric. Engin. Basselman, St. Joseph. Michigan.*
73. Koehne, W. -1948- Grundwasserkunde. *2 ed Schweizerbart, Stuttgart.*
74. König, F. -1929- Untersuchungen über den Einfluss des Grundwassers auf die Entwicklung eines Klee-gras-Gemisches. *Landwirtsch. Jhb.* 69:209-52
75. Kretzel, Z. -1966- Rhizosphere microorganisms as a factor influencing resistance to plant infection. *Acta microb. Polonica, 15:163-72.*
76. Katznelson, H. A; J. W. Ronatt e T. M. Payne, -1955- The liberation of aminoacids and reducing compounds by plant roots. *Plant & Soil, 7:35-48.*
77. Krivenkov, N. F. -1968- Effect of density of derno podzolic soils on nutrient uptake by plants. *Agrokhimiya, 11:69-76.*
78. Kupper, A; F. Grohmann e C. M. Franco, -1977- A massa específica aparente do solo como fator limitante do desenvolvimento do sistema radicular do cafeeiro. *An. congr. bras. pesq. cafeeira. Guarapari, E.S.*
- 78a. Koepf, H. -1966- Die Bodenluft. Em: Handbuch der Pflanzenernährung und Düngung, *Scharrer & Linser, Springer, Wien.*
79. Kutschera, L. -1960- Wurzelatlas mitteleuropäischer Ackerunkräuter und Kulturpflanzen. *DLG Verlags GmbH, Frankfurt/Main.*
80. Larson, W. E. e R. R. Allmaras, -1971- Management factores and natural forces related to compaction. Em: Compaction of agricultural soils, de Barnes, K. K. *Amer. Soc. Agric. Engin. Basselman, St. Joseph. Michigan, pp 367-427.*

81. Leme, H. A, de; -1956- Contribuição para o estudo da influência da profundidade de trabalho do arado na produção agrícola. *An. E. S. A. "Luiz Queiroz"*, pp 97-111.
82. Letey, J. L; H. Stolzey, O. R. Lunt e V. B. Youngner, -1964- Growth and nutrient uptake of Newport bluegrass as affected by soil oxygen. *Plant & Soil*, 20:143-48
83. Lieshout, J. W. van, -1960- Invloed von het boden milieu op ontwikkeling en activiteit von het wortelstelsel. *Versl. Landbouwkund. onderz. Wageningen*, N^o6618.
84. Lochhead, A. G; M. J. Timonin e P. H. West, -1940- The microflora of the rhizosphere in relation to resistance of plants to soil born pathogens. *Sci. Agric.* 20:414-18.
85. Machado, J. A. e A. C. R. Brum, -1977- Efeito de sistemas de cultivo na alteração de algumas propriedades físicas do solo. *XVI Cong. bras. ciência solo*, São Luiz, p 13.
86. Mengel, K. -1965- Ernährung und Stoffwechsel der Pflanze. 2 ed, Fischer, Jena.
87. Michael, G. e W. Bergmann, -1954- Bodenkohlensäure und Wurzelwachstum. *J. Pflanzenern. Düng. Bodenk.* 65:180-94.
88. Milniczuk, J. e I. Anghononi, -1975- Avaliação preliminar na utilização das recomendações de adubo e calcário dos laboratórios oficiais dos Estados de RS e SC. *Ata 3^o Reun. conj. pesq. soja, Porto Alegre*.
89. Minotti Blois, R; A. F. Castro, de e J. P. Vavra, -1971- Estudos de calagem conforme a relação de alumínio trocável para bases trocáveis. *An. XIII Congr. bras. ciênc. solo, Vitória*, pp 166-67.
90. Mitchell, R. e W. J. Russell, -1971- Root development and rooting pattern of soybean (*Glycine max* (1) Merrill.) evaluated under field conditions. *Agron. J.* 63(2):313-16.
91. Mitchell, J. K. -1956- The fabric of natural clays and its relation to engineering properties. *Highway Res. Board Proc.* 35:693-713.
92. Mitscherlich, E. A. -1949- Bodenkunde. 5 ed Parey, Berlin
93. Moltz, J. F. -1971- Interaction of water uptake and root distribution. *Agron. J.* 63(4): 608-10.
94. Moraes, F.J; C.J.L.Santana, de e R.E.Chepote Silva, -1977- A fertilização do cacauzeiro no Brasil. *CEPLAC, Bol. Téc.* 55.
95. Nöring, F. -1951- Einflüsse der Kunstdüngung auf den Chemismus des Grundwassers. *Gesundheits Ing. (München)*, 72:190-91.
96. Odén, S. -1957- Forslag till Klassifikation av macropores. *Kengl. Skogs Lanbr. Acad. Tidskr.* 96:297-313.
97. Panabokke, C. R; e J. P. Quirk, -1957- Effect of initial water content on stability of soil aggregation in water. *Soil Sci.* 83:185-95.
98. Pearson, R. W. -1965- Soil environment and root development. Em: Plant environment and efficient water use. *Edit. Soc. Agron e Soil. Sci. Soc. Amer. Madison, Wis.*
99. Périgaud, S. -1965- Effect du resistance mecanique et du manque de oxygène sur la croissance des racines. *Compt. Rend. Acad. France*, 51:1209-20.
100. Phillips, R. E. e D. Kirkham, -1962- Soil compaction in the field and corn growth. *Agron. J.* 54:29-34.
101. Primavesi, A; -1962- O diagnóstico bio-físico da terra. *Imprensa Univ. Sta. Maria/RS.*
102. ----- e A. M. Primavesi, -1964- Factores responsible for low yields of sugar cane in old cultivated Terra Roxa Estruturada soils in eastern Brasil. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 28(5):578-80.
103. -----, -1965- Weizenenerträge in Beziehung zur Bodenstruktur und Wurzelentwicklung. *Bodenkult.* 1(2):50-8
104. ----- e A. M. Primavesi, -1965- Deficiências minerais em culturas. *Globo, Porto Alegre.*
105. ----- e -----, -1965- A biocenose do solo na produção vegetal. *Palotti, Sta. Maria/RS.*
106. -----, -1966- Recuperação de solos improdutivos por métodos biológicos. *Progr. Biol. d. Suelo, Bahia Blanca, UNESCO, Montevideo*, pp 83-96.
107. ----- e A. M. Primavesi, -1968- Influência da bioestrutura do solo sobre a infiltração e evaporação da água. *Progr. Biodin. Produt. Solo, Sta. Maria*, pp 253-68.
108. Primavesi, A. M. e J. A. Machado, -1968- Influência da microflora trófica da cultura precedente sobre o trigo. *II^o Col. Latinam. Biol. Suelo, UNESCO*, pp 100-101.
- 108a. -----, -1972- Condições ecológicas de Mio-Mio (*Baccharis coridifolia*). *Relatório de pesquisa à FAPERGS.*
109. Primavesi, O; -1974- Comparação da constituição química de variedades brasileiras e es-

- trangeiras de trigo e soja, criadas em hidroponia. *Relatório à CAPES*.
110. **Purcino, C. A. A. e L. Ferreira**, -1974/75- Profundidade de aração, modo de aplicação e doses de adubação NPK na cultura algodoeira (*Gossypium hirsutum* L.) em Minas Gerais. *Projeto Algodão, (EPAMIG, ESAL, UFMG e UFU) Rel. an.*
 111. **Raney, W. A.** -1950- Field measurement of oxygen diffusion through soil. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 14(1):61-65.
 112. **Reicosky, D. C; R. J. Millington, A. Klute e D. B. Peters**, -1972- Pattern of water uptake and root distribution of soy bean (*Glycine max* (L) Merrill) in presence of water tables. *Agron. j.* 64(3):292-96.
 113. **Rending, V. V. e E. A. McComb**, -1961- Em: A biocenose do solo na produção vegetal, de **Primavesi. Pallotti, Sta. Maria/Rs.**
 114. **Robinson, G. W.** -1960- Los Suelos, su origen, constitución y clasificación. 3 ed (traduzida) Zaragoza, p 243.
 115. **Rosemberg, N. J.** -1964- La réaction des plantes sur des effects physiques des adensements du sol. *Adv. Agron.* 16:181-96.
 116. **Russel, E. W.** -1961- Soil conditions and plant growth. 9 ed Longmanns & Green, Londond.
 117. **Salinas, J. G. e P. Sanchez**, -1975- Tolerance to aluminium toxicity and low available phosphorus. *Agron-econ. Res. Trop. Soils, ann. Rep. ed US Agency Intern. Developm.* pp 40-65.
 118. - - - - - **E. Gonzales, E. J. Kamprath e o.** -1975- Residual effects of limerates and depth of incorporation. *Agron-Econ. Res. Trop. Soils, ann. Rep. North Carolina State Univ.* pp 16-26.
 119. **Sanchez, P. A.** -1977- Manejo de solos da Amazônia para produção agropecuaria intensiva. *Bol. Inf. Soc. bras. ciência solo.*
 120. **Santana, C. J. de; F. J. O. Moraes, de e R. E. Chepote**, -1977- Efeito da adubação e escarificação do solo no desenvolvimento e produção do cacauero. *Rev. Theobroma*, 7: 85-9.
 121. **Saveson, I. L. e Z. F. Lund**, -1958- Deep tillage for crop production. *Trans ASAE*, 1: 40-42.
 122. **Scheffer, F. e O. Tornau**, -1953- Lehrbuch des Acker und Pflanzenbaus. *Parey, Berlin-Hamburg.*
 123. - - - - - **e P. Hiestermann**, -1957- Die Bedeutung der Chelatisierung in der Agrikulturchemie und Bodenkunde. *Z. Pflanzenern. Düng. Bodenkde.* 76:146-57.
 124. **Schmidt, B. L; W. D. Schrader e W. C. Moldenhauer**, -1964- Relative erodibility of three loess derived soils in south western Iowa. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 28(4):570-74.
 125. **Schuurman, J. J.** -1966- Effects of soil density on root development and top growth of oats. Em: *Proc. Intern. Sci. Symp. Brno. CSR*, pp 103-20
 126. **Schwille, F.** -1967- Chloride und Nitrate in den Grundwässern Rheinhessens und des Rheingauers. *Gas & Wasserfach.* 94:410-14.
 127. **Souza, P. D. M. de** -1967- Água no solo: armazenamento e disponibilidade em Terra Roxa estruturada e Terra Roxa misturada. *Rev. Ex. Agron. Vet. Paraná.* 3 (único). 79-138.
 128. **Sprague, H. B.** -1964- Hunger signs in crops. 3 ed McKay, New York.
 129. **Stauffer, R. S; R. J. Muckenhirn e R. C. Odete**, -1940- Organic carbon, pH and aggregation of the soil of the Morrow plot as affected by tipe of cropping and manurial additions. *J. Amer. Soc. Agron.* 32:819-32.
 130. **Stevenson, D. S.** -1967- Wirksames Bodenvolumen und seine Bedeutung für das Wurzel und Sprosswachstum. *Canad. J. Soil Sci.* 47:163-74.
 131. **Stolzey, L. H. V. e J. Lethy**, -1964- Correlation of plant response to soil oxygen diffusion rate. *Hilgardia*, 35:567-76.
 132. **Sulochana, A. C. B.** -1962- Em: Ernährung und Stoffwechsel der Pflanze, de **Mengel, K. Fischer, Jena**, p 42.
 133. **Taylor, H. M; L. F. Locke e J. E. Box**, -1956- Pans in Southern Plain soils. III: Their effect on yield of cotton and grain sorghum. *Agron. J.* 56:542-45.
 134. - - - - - **e E. Burnett**, -1964- Influence of soil strength on the root growth habits of plants. *Soil Sci.* 98:174-80.
 135. **Timm, H. e W. J. Flocker**, -1963- Potatoo response to induced soil compaction. *Pan. Amer. Agron. Meeting, Kenver*, p 42.

136. Trollidenier, G. -1968- Cereal diseases and plant nutrition. *Progr. Biodin. Produt. Solo. Sta. Maria/RS*, pp 509-19.
137. Uhland, R. H. -1949- Physical properties of soil modified by crops and management. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 14:316-66.
138. Veiga, C. e L. B. Oliveira, de; -1977- Influência do manejo sobre a porosidade do solo e sobre a produtividade de soja (*Glycine max (L) Merrill*) em solo podzólico vermelho amarelo. *Rev. Centro Ciências Rur.* 7(2):91-99.
139. -----, ----- -1976- Influência do preparo do solo sobre a distribuição de raízes de soja. (*Glycine max (L) Merrill*) em solo podzólico vermelho amarelo. *Rev. Centro Ciênc. Rur.* 6(3):295-307.
140. Vencater, R. C. S. -1960- Foliar application of nutrients and rhizosphere microflora of *Camelia sinensis*. *Nature*, 187:621-22.
141. Viesser, W. C. -1959- Crop growth and availability of moisture. *Inst. Land & Water management. Wageningen, Tech. Bull. N° 17.*
142. Vidor, C; J. R. J. Freire, N. G. Mendes e o. - 1977 - Avaliação do efeito de métodos de adubação em variedades de soja. *EMBRAPA, Soja resum. inform. Vol. 1 p 220.*
143. Voisin, A. -1960- Dynamique des herbages. *Maison Rustique, Paris.*
144. Vraný, J. -1968- Reação da microflora da rizosfera após a aplicação de uréia e outras substâncias. *Progr. Biodin. Produt. Solo, Sta. Maria/RS*, pp 521-32.
145. Walter, H. -1951- Einführung in die Phytopathologie. III: *Grundlagen der Pflanzenverbreitung. 1° T. Standortslehre. Ludwigsburg.*
146. Weaver, J. E. -1926- Root development of field crops. *McGrawhill, New York.*
147. ----- e F. E. Clements, -1958- Plant Ecology. 2 ed *McGrawhill, New York.*
148. ----- -1950- Effect of different intensity of grazing on depth and quantity of roots of grasses. *J. Range Management*, 3:100-13.
149. Weaver, N.A. e V.C. Jamison, -1951- Effects of moisture on tractor tire compaction of soil. *Soil Sci.* 71:15-23.
150. Wiersum, L. K. -1966- Root system development. Em: Soil moisture and irrigation studies. *Proc. FAO/IAEA, Viena*, pp 83-96.
151. Wohlrab, B. -1966- Grundwasser und Pflanzenenertrag. Em: Handbuch der Pflanzenernährung und Düngung de **Scharrer-Linser**. *Springer, Wien-New York*, pp 691-716.
152. Wollney, E. -1880- Untersuchungen über den Einfluss der Pflanzendecken und der Beschattung auf den Kohlensäurehaushalt der Bodenluft. *Forsch. Geb. Agr. Phys.* 3:1-14.
153. Wrigly, G. -1969- Tropical agriculture. *Faber & Faber, London.*
154. Cadima, A. Z. -1977- Sistema radicular da seringueira e os fatores físicos que influem no seu desenvolvimento. *XVI Congr. bras. ciência solo*, p 20.

APÊNDICE

155. Foy, C. D. e J. C. Brown: -1963- Toxic factors in acid soils. I: Characterization of aluminium toxicity in cotton. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 27:403-07.
156. -----, G. R. Burns, J. C. Brown e A. L. Fleming, -1965- Differential aluminium tolerance of two wheat varieties associated with plant induced pH changes around the roots. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 29:64-67.
157. Mclean, F. T. e B. E. Gilbert, -1927- The relative aluminium tolerance of crop plants. *Soil Sci.* 24:163-75.
158. Mclean, E. O. -1965- Aluminium. *Agronomy*, 9:978-98.
159. Munns, D. N. -1965 b- Soil acidity and growth of a legume. III: Interaction of lime and phosphate on growth of *Medicago sativa L.* in relation to aluminium toxicity and phosphorus fixation. *Austr. J. Agr. Res.* 16:757-66.
160. Parish, D. H. -1971- Soil conditions as they affect plant establishment, root development and yield. Em: Compaction of agricultural soils de **Barnes**. *Amer. Soc. Agric. Engin. Basselman, St. Joseph, Michigan*. pp 277-312.
161. Watts, M; L. Covolo e W. Silveira, -1973- Influência da compactação do solo sobre a disponibilidade de fósforo, em milho. *Curso Pós-Grad. Biodin. Produt. Solo. UFSM/RS*. não public.
162. Wright, K. E. e B. A. Donahue; -1953- Aluminium toxicity studies with radioactive phosphorus. *Plant Physiol.* 28:674-80.