

I - FERTILIDADE DO SOLO E PRODUTIVIDADE AGRÍCOLA

Alfredo Scheid Lopes^{1/} & Luiz Roberto Guimarães Guilherme^{1/}

^{1/} Departamento de Ciência do Solo, Universidade Federal de Lavras - UFLA.
Caixa Postal 37, CEP 37200-00 Lavras (MG).
ascheidl@ufla.br; guilherm@ufla.br

Conteúdo

INTRODUÇÃO	2
HISTÓRICO	3
Relatos Antigos	3
Fertilidade do Solo nos Primeiros 18 Séculos da Era Cristã	7
Progresso durante o Século 19	11
Desenvolvimento da Fertilidade do Solo nos Estados Unidos	15
Olhando para o Século 21	17
Fatos Marcantes da Evolução da Fertilidade do Solo no Brasil	19
Trabalhos Pioneiros em Fertilidade do Solo e Adubação	20
Programa do IRI	25
Projeto FAO/ANDA/ABCAR	27
Operação Tatu	28
International Soil Fertility Evaluation and Improvement Project	30
Tropical Soils Research Project	31
Programas Interlaboratoriais de Controle de Qualidade de Análises de Solos	32
Programa Interlaboratorial de Análise de Tecido Vegetal	33
Recomendações Oficiais de Corretivos e Fertilizantes	33
Comitê de Qualidade da ANDA	34
Plano Nacional de Fertilizantes e Calcário Agrícola - PNFCA	35
Gesso Agrícola - Uma Descoberta Casual	36
Método de Extração de Nutrientes com Resina de Troca Iônica	37
Método de Saturação por Bases	38
Evolução das Análises de Micronutrientes nos Solos	38
Fixação Biológica de Nitrogênio	40

MANEJO DA FERTILIDADE DO SOLO NO CONTEXTO ATUAL E FUTURO DA AGRICULTURA BRASILEIRA	42
Causas da Baixa Fertilidade dos Solos	42
Importância do Solo nos Ecossistemas	42
Solo Fértil e Solo Produtivo	43
Baixa Fertilidade: Natural ou Não?	43
Preservar a Matéria Orgânica do Solo é Fundamental	45
Produtividade Agrícola Brasileira, Fertilidade do Solo e Uso Eficiente de Corretivos e Fertilizantes	46
Impacto do Manejo da Fertilidade do Solo e do Uso Eficiente de Corretivos e Fertilizantes nas Lavouras	46
Perspectivas	54
CONSIDERAÇÕES FINAIS	57
NOTA DOs EDITORes	60
LITERATURA CITADA	61

INTRODUÇÃO

A agricultura brasileira experimentou grande desenvolvimento durante os últimos 100 anos, obtendo aumentos significativos na produtividade de grande número de culturas, notadamente nas últimas três décadas. Isto deveu-se a inovações tecnológicas resultantes de inúmeras pesquisas e da difusão do uso dessas técnicas.

Um dos componentes mais importantes para esse desenvolvimento da agricultura, principalmente no que diz respeito ao aumento da produtividade agrícola, sem esquecer os outros fatores de produção, foi a pesquisa em fertilidade do solo e as inovações científicas e tecnológicas que permitiram o uso eficiente de corretivos e de fertilizantes na agricultura brasileira. Segundo dados da FAO, cada tonelada de fertilizante mineral aplicado em um hectare, de acordo com princípios que permitam sua máxima eficiência, equivale à produção de quatro novos hectares sem adubação. É, portanto, indissociável a estreita inter-relação entre fertilidade do solo e produtividade agrícola.

Embora a disciplina Fertilidade do Solo, como parte das ciências agrárias e afins, seja relativamente recente nas escolas e universidades, é cada vez mais acentuada a importância que essa tem para a segurança alimentar no Brasil e no Mundo. Entretanto, estudantes dessa disciplina geralmente desconhecem relatos pertinentes às observações práticas, aos trabalhos de pesquisa e a outros fatos importantes que, pela sua evolução através dos tempos, permitiram que se alcançasse o patamar de conhecimento em que nos situamos hoje, no Mundo e no Brasil. Esses aspectos são abordados nos primeiros tópicos deste capítulo.

Discute-se, a seguir, o manejo da fertilidade do solo no contexto atual e futuro da agricultura brasileira, com enfoque para as causas da baixa fertilidade dos solos, a produtividade agrícola brasileira e o uso eficiente de corretivos e de fertilizantes e as perspectivas quanto a fatores que nos permitem antever um papel de destaque para o Brasil, diante da crescente demanda por alimentos e energia no mundo.

Finalmente, como considerações finais, são mostrados três exemplos de como o crescimento sustentável da produtividade agrícola brasileira transcende os seus efeitos apenas no campo, tendo, também, profundas implicações na preservação ambiental e no desenvolvimento econômico e social.

HISTÓRICO

O período do desenvolvimento da espécie humana, durante o qual o homem iniciou o cultivo das plantas, marca o nascimento da agricultura. A época exata em que isso aconteceu não é conhecida, mas certamente foi há milhares de anos antes de Cristo. Até então, o ser humano tinha hábitos nômades e vivia quase que exclusivamente da caça e colheita para a obtenção de seus alimentos.

Com o passar do tempo, o homem foi se tornando menos nômade e mais e mais dependente da terra em que vivia. Famílias, clãs e vilas se desenvolveram e, com isto, o desenvolvimento da habilidade de produzir, ou seja, surgiu a agricultura.

O que deve ser destacado é que desde a pré-história, então, quando o homem deixou as atividades nômades – quando se alimentava de produtos de colheita e da caça – e passou a se estabelecer em áreas mais definidas, a fertilidade do solo e a produtividade das culturas passaram a interagir mais ou menos profundamente.

Um dos capítulos mais concisos e objetivos sobre o passado e o presente da fertilidade do solo no Mundo é o escrito por Tisdale et al. (1990), no livro *Soil Fertility and Fertilizers*⁽¹⁾. Os primeiros cinco tópicos, a seguir, constituem uma tradução dessa literatura, acrescidos de outros pontos históricos relevantes descritos por outros autores. Na seqüência, são apresentados alguns fatos marcantes da história da fertilidade do solo no Brasil.

Relatos Antigos

Uma das regiões do mundo onde existem evidências de civilizações muito primitivas é a Mesopotâmia, situada entre os rios Tigre e Eufrates, onde se localiza atualmente o Iraque. Documentos escritos em 2500 aC mencionam, pela primeira vez, a fertilidade da terra e sua relação com a produtividade de cevada em algumas áreas, em que uma unidade de semente plantada levou a uma colheita de 86 a 300 unidades.

Cerca de 2000 anos mais tarde, o historiador grego Heródoto relata suas viagens pela Mesopotâmia e menciona produtividades excepcionais obtidas pelos habitantes da região. As altas produtividades eram, provavelmente, resultado de avançados sistemas de irrigação e solos com alta fertilidade, fertilidade esta atribuída, em parte, às enchentes anuais dos rios. Teofrasto foi outro que deixou relatos cerca de 300 aC sobre a riqueza dos aluviões do rio Tigre, mencionando que a água era deixada o maior tempo possível de modo a permitir que uma grande quantidade de silte fosse depositada.

⁽¹⁾ Estes tópicos são transcritos com a permissão de um dos autores que sobrevive aos demais, Dr. James D. Beaton.

Com o passar do tempo, o homem observou que certos solos não iriam produzir satisfatoriamente quando cultivados continuamente. A prática de adicionar esterco de animais ou restos de vegetais ao solo, para restaurar sua fertilidade, provavelmente foi decorrente dessas observações, mas não se sabe como e quando a adubação realmente começou. A mitologia grega, entretanto, oferece uma explicação pitoresca: Augeas, um lendário rei de Elis, era famoso por seu estábulo, que tinha 3.000 cabeças de bovinos. Este estábulo não havia sido limpo por 30 anos e o rei contratou Hércules para limpá-lo, concordando em dar-lhe 10 % do seu rebanho em pagamento. Diz-se que Hércules fez o seu trabalho, fazendo passar pelo estábulo o Rio Alpheus, removendo os detritos e presumivelmente fazendo com que estes ficassem depositados nas terras adjacentes. O rei Augeas se recusou a pagar o prometido seguindo-se uma guerra em que Hércules matou o rei.

Mesmo no épico poema grego a Odisséia, atribuído ao poeta grego cego Homero, que se acredita ter vivido entre 900 e 700 aC, é mencionada a aplicação de esterco em videiras, pelo pai de Odisseu. Também é mencionado um monte de esterco, fato que sugere uma sistemática coleta e armazenamento deste material. Argos, o fiel cão de caça de Odisseu, é descrito como estando em cima de tal monte de esterco quando o seu dono voltou depois de uma ausência de 20 anos. Esses escritos sugerem que o uso de esterco era uma prática agrícola na Grécia, nove séculos antes de Cristo.

Xenofonte, que viveu entre 434 e 355 aC, observou que

“o estado tinha ido às ruínas” por que “alguém não sabia que era importante aplicar esterco à terra”. E outra vez escreveu, “... não existe nada tão bom como o esterco”.

Teofrasto (372–287 aC) recomendava o uso abundante de esterco nos solos rasos, mas sugeria que solos ricos fossem menos adubados. Ele também endossava a prática hoje considerada boa – o uso de camas (palhas) dos estábulos. Ele mencionava que isso iria conservar a urina e as fezes e que o valor do húmus do esterco seria aumentado. É interessante notar que Teofrasto sugeriu que plantas com maior exigência de nutrientes também teriam alto requerimento de água.

As áreas de plantio de verduras e de oliveiras ao redor de Atenas eram enriquecidas com esgoto da cidade. Um sistema de canais foi usado e existem evidências de utilização de um sistema para regulação do fluxo. Acredita-se que o esgoto era vendido aos agricultores. Os antigos também adubavam suas videiras e arvoredos com água que continha esterco dissolvido.

Estercos foram classificados de acordo com sua riqueza e concentração. Teofrasto, por exemplo, listou-os na seguinte ordem decrescente de valor: humano, suínos, cabritos, ovelhas, bovinos e eqüinos. Mais tarde, Varro, num dos primeiros escritos sobre a agricultura romana, desenvolveu uma lista semelhante, mas classificou esterco de pássaros e de outras aves como superiores aos excrementos humanos. Columelo recomendava que se alimentasse o gado com alfafa (lucerne) porque ele acreditava que isso iria enriquecer o esterco.

Os antigos não apenas reconheciam os méritos do esterco, mas também observavam o efeito que os corpos mortos tinham sobre o aumento do crescimento das culturas. Arquiloco fez essa observação ao redor de 700 aC, e as citações do Velho Testamento são até anteriores a isso. No Deuteronômio, é mencionado que o sangue de animais deveria ser espalhado no solo. O aumento da fertilidade da terra que recebeu corpos mortos tem sido reconhecido através dos anos, mas provavelmente de uma forma mais poética por Omar Khayyam, o poeta-astrônomo da Pérsia, que, ao redor do fim do século onze, escreveu:

*Eu às vezes penso que nunca floresce tão vermelha
A rosa como onde algum César enterrado sangrou;
Que cada jacinto que brota no jardim
Caído em seu regaço de alguma vez cabeça encantadora.
E esta deliciosa planta cujo verde tenro
Empluma a orla do rio na qual nós repousamos
Ah! Repousemos sobre ela suavemente! Pois quem sabe
Da beleza de quem está enterrado sob essas plantas.*

O valor dos adubos verdes, particularmente das leguminosas, foi logo reconhecido. Teofrasto observou que um tipo de feijão (*Vicia fava*) era incorporado pela aração por agricultores da Tessália e Macedônia. Verificou que, mesmo quando densamente semeada e quando grandes quantidades de sementes eram produzidas, a cultura enriquecia o solo.

Segundo Catão (234–149 aC), áreas pobres com videiras deveriam ser plantadas com cultura intercalar de *Acinum*. Não se sabe que cultura é essa, mas sabe-se que ela não era deixada até produzir sementes, inferindo-se que ela seria incorporada ao solo. Ele afirmava ainda que as melhores leguminosas para enriquecer o solo eram: feijão, trevo lupino e ervilhaca.

O trevo lupino era muito popular entre os povos antigos. Columelo listou numerosas leguminosas, incluindo tremoço (*Lupinus* sp.), ervilhaca, lentilha, ervilha, trevo e alfafa, que eram adequados para a melhoria do solo. Muitos dos escribas da época concordavam, entretanto, que o trevo lupino era o melhor como adubo verde porque crescia bem sob grande variedade de condições do solo, fornecia alimento para o homem e para os animais, era fácil de semear e crescia com rapidez.

Virgílio (70–19 aC) recomendava o uso de leguminosas, como é indicado na passagem seguinte:

*“ou, mudando a estação, você semeará o trigo amarelo, onde antes você
tinha colhido grãos de leguminosas com ferrugem nas vagens, ervilhaca e
lupino amargo de talos frágeis ou arvoredos praguejados”.*

O uso do que é agora chamado de corretivos e fertilizantes minerais não era totalmente desconhecido das antigas civilizações. Teofrasto sugeria a mistura de diferentes solos com a finalidade de “corrigir defeitos e adicionar força ao solo”. Esta prática pode ter sido benéfica sob vários aspectos. A adição de solo fértil sobre um solo infértil poderia levar

ao aumento da fertilidade do solo e a prática de misturar um solo com o outro poderia, também, promover melhor inoculação das sementes de leguminosas em alguns campos. A mistura de um solo mais arenoso com um mais argiloso, ou vice-versa, poderia melhorar as relações de umidade e arejamento nos solos dos campos que recebiam esse tratamento.

O valor das margas (misturas de argila e calcários) também era conhecido. Os primitivos habitantes de Aegina escavavam as margas e as aplicavam nas suas terras. Os romanos, que aprenderam esta prática dos gregos e gauleses, chegaram a classificar os vários materiais calcários e recomendavam que um tipo fosse aplicado às lavouras produtoras de grãos e outro às pastagens. Plínio (62–113 dC) afirmava que o calcário deveria ser espalhado para formar uma fina camada sob o terreno e que um tratamento era “suficiente por vários anos, mas não por 50”. Columelo também recomendava a distribuição das margas em um solo pedregoso e a mistura de cascalho com solos ricos em carbonato de Ca e densos.

A Bíblia menciona o valor das cinzas de madeira em referência à queima de roseiras selvagens e arbustos pelos judeus, e Xenofonte e Virgílio reportam a queima de restolhos para limpar os campos e destruir as ervas daninhas. Catão aconselhava um proprietário de videiras a queimar os restos da poda no local e enterrar as cinzas para enriquecer o solo. Plínio afirmava que o uso de calcário queimado nos fornos era excelente para as oliveiras, e alguns agricultores queimavam o esterco e aplicavam as cinzas em seus campos. Columelo também sugeriu a distribuição de cinzas ou calcário em solos de baixada para “destruir” a acidez.

Salitre ou nitrato de K foi mencionado por Teofrasto e Plínio como conveniente para adubar as plantas e isso é mencionado na Bíblia, no livro de Lucas. Salmoura foi mencionada por Teofrasto. Aparentemente, reconhecendo que palmáceas necessitam de grandes quantidades de sal, os primeiros agricultores aplicavam salmouras nas raízes de suas árvores.

Virgílio escreveu sobre a característica hoje conhecida como densidade do solo. Seu conselho em como determinar essa propriedade era:

... primeiro, você deve marcar um lugar e fazer um buraco profundo no terreno sólido, e, a seguir, retornar toda a terra para o seu lugar, nivelando com seu pé a parte de cima. Se for possível nivelar ou ainda houver espaço no buraco, o solo é solto e mais adequado para o gado e videiras generosas; mas se não houver a possibilidade de voltar todo o material para seu lugar, e sobrar terra após o buraco ter sido preenchido, trata-se de um solo denso; espere torrões de terra resistentes e entresulcos rijos, e dê a primeira aradura à terra com touros robustos castrados.

Virgílio descreve outro método que poderia ser considerado hoje o protótipo de uma análise de solo:

... mas, o solo salgado, e com acentuado sabor amargo (onde o milho não se desenvolve), irá dar prova de sua característica. Pegue do teto enfumaçado esteiras de vime e peneiras das prensas de vinho. Encha-as com a terra de

má qualidade, adicione água doce que brota da fonte e esteja certo de que toda a água irá drenar e grossas gotas passarão pelo vime. O seu gosto será o indício de sua qualidade e o amargor ao ser percebido será mostrado por um gesto de desagrado nos rostos dos provadores.

Columelo também sugeriu um teste de sabor para medir o grau de acidez e salinidade dos solos, e Plínio afirmou que o sabor amargo dos solos poderia ser detectado pela presença de ervas negras e subterrâneas.

Plínio escreveu que “entre as provas que o solo é bom está a espessura comparativa do colmo do milho” e Columelo afirmou simplesmente que o melhor teste para a adequabilidade da terra para uma cultura específica seria se ela poderia nele crescer.

Muitos dos escribas no passado (e, sobre este assunto, muitos ainda hoje) acreditavam que a cor do solo era um critério para avaliar sua fertilidade. A idéia geral é que solos pretos eram férteis e que solos claros ou cinzas eram inférteis. Columelo não concordava com este ponto de vista, ressaltando a infertilidade dos solos negros de pântanos e a alta fertilidade dos solos claros da Líbia. Ele acreditava que fatores, como estrutura, textura e acidez, eram melhores guias para se estimar a fertilidade do solo.

A era dos Gregos de cerca de 800 a 200 aC foi, sem dúvida, uma época áurea. Muitos dos feitos de homens deste período refletem um trabalho de gênio inigualável. Seus escritos, sua cultura, sua agricultura foram copiados pelos Romanos, e a filosofia de muitos dos Gregos deste período dominou o pensamento do homem por mais de 2000 anos.

Fertilidade do Solo nos Primeiros 18 Séculos da Era Cristã

O pensamento clássico grego e romano chegou ao ocidente graças ao florescimento das cidades islâmicas, lugares de trabalho, centros de culto e focos de cultura e ciência, como Cairo, Fez, Marrakesh e Alexandria, na África; Bagdá, Bassora, Damasco, Isfaham, Bukhara, Samarkanda e Lahore, na Ásia; Istambul e Córdoba, na Europa (Chatty, 1981). Nas Medinas, acima de todo o saber humano, as ciências do mundo inteiro – da China ou da Índia, da Grécia ou de Roma, do Egito ou de Caldéia – teóricas ou práticas, experimentais ou fundamentais, foram minuciosamente recolhidas e cuidadosamente conservadas. As obras foram traduzidas para o árabe e comentadas com sabedoria. Os conhecimentos foram aprofundados, recriados e repensados de forma genial (Chatty, 1981). Toda essa atividade intelectual gerou um desenvolvimento sem precedentes, sem o qual a modernidade atual teria sido impossível.

A contribuição da civilização árabe-islâmica foi muito marcante no desenvolvimento de uma agricultura próspera em regiões áridas e semi-áridas. Esta civilização criou as bases das ciências agrárias, ultrapassando o simples acúmulo de conhecimentos empíricos, superando-os e liberando-os dos sentidos místicos e sobrenaturais que os cercavam. O ambiente de tolerância e admiração pela diversidade cultural permitiu a combinação da grande experiência asiática com a riqueza do conhecimento dos povos do mediterrâneo. Durante a longa presença árabe na Europa, a agricultura mediterrânea conheceu aperfeiçoamento e complexidade sem precedentes (Miranda, 1982).

Na região de Granada e Sevilha, Espanha, o agrônomo árabe-andaluz Ibn Al Awan (? - 1145), agregando à literatura o conhecimento local, testou as diferentes técnicas conhecidas gerando verdadeiros “jardins de ensaios” ou “estações experimentais”. O conhecimento adquirido e testado transformou-se na obra “O Livro da Agricultura”, com cerca de 1.500 páginas, 35 capítulos e três volumes. Nessa obra, verifica-se que os agrônomos andaluzes atingiram grande domínio na escolha do material vegetal e no controle dos fatores de produção, especialmente dos solos e da água (Miranda, 1982). Nos capítulos que tratam dos solos, eles são identificados em cerca de 12 classes, com sua origem explicada pela desagregação das rochas pela ação da água e do calor. São descritas em detalhe as características que permitem identificar a terra de boa qualidade e as técnicas necessárias para a recuperação das terras consideradas impróprias à agricultura. Os capítulos sobre adubos e corretivos apresentam classificação dos diversos tipos de compostos e das técnicas possíveis de compostagem, indicam as formas de utilização de margas e calcários, das épocas mais adequadas de sua aplicação, das plantas e árvores que se beneficiam ou não com os diferentes tipos de fertilização. Os capítulos sobre irrigação tratam dos diferentes tipos de água, quais os convenientes a cada tipo de planta; bem como da construção de poços, do nivelamento dos terrenos e das várias técnicas de irrigação, em quadros, por submersão, em potes, etc. (Miranda, 1982). A monumental obra de Ibn Al Awan, pelo adiantado da agronomia andaluza, influenciou a agricultura européia, especialmente a do mediterrâneo, até o século XIX, pois a expansão colonial francesa no norte da África fundamentou-se no uso da tradução, para o francês, como manual de técnicas agrícolas a serem utilizadas pelos colonos.

Após o declínio de Roma, apareceram poucas contribuições para o desenvolvimento da agricultura, até à publicação de *Opus Ruralium Comodorum*, uma coleção de práticas agrícolas locais, por Pietro de Crescenzi (1230-1307). De Crescenzi é considerado por alguns como o fundador da agronomia moderna, mas o seu manuscrito parece estar restrito ao trabalho de escritores do tempo de Homero. Sua contribuição foi principalmente fazer um resumo do material disponível. Ele, entretanto, sugeriu um aumento das doses de esterco acima das recomendadas naquela época.

Após o trabalho de De Crescenzi, pouco foi adicionado ao conhecimento agrícola por muitos anos, apesar de ter sido atribuído a Palissy, em 1563, a observação de que o teor de cinzas das plantas representava o material que elas tinham retirado do solo.

Ao redor do início do século dezessete, Francis Bacon (1561-1624) sugeriu que o principal alimento das plantas era a água. Ele acreditava que a principal função do solo era manter as plantas eretas e protegê-las do calor e do frio e que cada planta tirava do solo uma única substância para sua alimentação em particular. Bacon afirmava também que a produção contínua de um mesmo tipo de planta em um solo iria empobrecê-lo para aquela espécie em particular.

Durante esse mesmo período, Jean Baptiste van Helmont (1577-1644), um físico-químico flamengo, relatou os resultados de um experimento em que ele acreditava provar que a água era o único nutriente das plantas. Ele colocou 200 libras de solo (90,7 kg) em um vaso, umedeceu o solo e plantou um pé de salgueiro pesando cinco libras (2,3 kg). Ele cuidadosamente protegeu o solo no vaso da poeira e adicionava somente água da

chuva ou água destilada. Após um período de cinco anos, van Helmont terminou o experimento. A árvore pesava 169 libras e três onças (76,7 kg). Ele só não pôde explicar a variação de peso de duas onças (56,6 g) das 200 libras (90,7 kg) de solo originalmente usadas. Por ter adicionado apenas água, sua conclusão foi que a água era o único nutriente da planta. Ele atribuiu a perda de duas onças de solo (56,6 g) ao erro experimental.

O trabalho de van Helmont e suas conclusões errôneas foram, na verdade, contribuições valiosas para o nosso conhecimento, pois, apesar de serem erradas, estimularam investigações posteriores cujos resultados levaram ao melhor entendimento da nutrição de plantas.

O trabalho de van Helmont foi repetido vários anos mais tarde por Robert Boyle (1627-1691), na Inglaterra. Boyle é provavelmente mais conhecido por expressar a relação do volume de um gás a determinada pressão. Ele tinha também interesse por biologia e era um grande defensor de métodos experimentais na solução de problemas relacionados com a ciência. Ele acreditava que a observação era o único caminho para a verdade. Boyle confirmou os resultados de van Helmont, mas foi mais além. Como resultado das análises químicas que ele fez em amostras de plantas, concluiu que as plantas continham sais, terra e óleo, todos eles formados da água.

Mais ou menos na mesma época, J. R. Glauber (1604-1668), um químico alemão, sugeriu que salitre (KNO_3) e não a água era o “princípio da vegetação”. Ele coletou o sal de currais de gado e ponderou que o sal vinha das fezes dos animais. Ele afirmou que, como os animais comem forragem, o salitre deve ter sido originado das plantas. Quando ele aplicou esse sal às plantas, ele observou substancial aumento no crescimento das plantas, concluindo, ainda, que a fertilidade do solo e o valor do esterco eram totalmente devidos ao salitre.

John Mayow (1643-1679), um químico inglês, deu suporte às afirmações de Glauber. Mayow estimou as quantidades de salitre no solo em várias épocas durante o ano e encontrou a maior concentração na primavera. Não encontrando nada durante o verão, ele concluiu que o salitre tinha sido absorvido ou succionado pela planta, durante seu período de crescimento rápido, à medida que era aplicado ao solo.

Por volta do ano de 1700, entretanto, foi feito um estudo que pode ser considerado excepcional e que representou um avanço considerável para o progresso das ciências agrárias. Um inglês de nome John Woodward, que estava familiarizado com o trabalho de Boyle e van Helmont, fez crescer plantas de hortelã em amostras de água que ele tinha obtido de várias procedências: água de chuva, água de rio, água de esgoto e água de esgoto mais mofo de jardim. Cuidadosamente, ele mediu a quantidade de água transpirada pelas plantas e anotou o peso das plantas no início e no fim do experimento. Ele observou que o crescimento das plantas foi proporcional à quantidade de impurezas na água e concluiu que o material da terra ou solo, ao invés de água, era o princípio da vegetação. Apesar de não ser totalmente correta, a conclusão representou um avanço no conhecimento e sua técnica experimental foi consideravelmente melhor do que qualquer outra anterior.

Havia muita ignorância em relação à nutrição de plantas naquela época. Muitas idéias estranhas surgiram, tiveram evidência efêmera e foram esquecidas. Parte dessas idéias foi introduzida por outro inglês, Jethro Tull (1674–1741). Tull foi educado em Oxford, o que era considerado um pouco fora do comum para uma pessoa com propensão à agricultura. Ele parece ter tido interesse pela política, mas problemas de saúde o forçaram a uma aposentadoria no campo. Ele levou a cabo vários experimentos, a maioria envolvendo práticas agrícolas. Ele acreditava que o solo deveria ser finamente pulverizado para dar o “sustento adequado” para a planta em crescimento. De acordo com Tull, as partículas do solo seriam, na verdade, ingeridas através de aberturas nas raízes das plantas. Ele acreditava que a pressão causada pela expansão das raízes em crescimento forçava as partículas finas do solo para dentro das “bocas dos vasos das raízes”, após o que, entraria no “sistema circulatório” das plantas.

As idéias de Tull sobre nutrição de plantas eram, no mínimo, bizarras. Seus experimentos, entretanto, levaram ao desenvolvimento de dois valiosos equipamentos de cultivo: a plantadeira em linha e o cultivador puxado por cavalos. Seu livro *Horse Hoeing Husbandry* foi, por muito tempo, considerado um texto importante no meio agrícola inglês.

Ao redor de 1762, John Wynn Baker, um partidário de Tull, estabeleceu uma fazenda experimental na Inglaterra, cuja finalidade era a exibição pública dos resultados dos experimentos agrícolas. O trabalho de Baker foi elogiado mais tarde por Arthur Young que, entretanto, alertava os leitores para terem cuidado ao dar crédito excessivo aos cálculos, tomando por base os resultados de somente alguns anos de trabalho, um cuidado que é tão importante hoje como quando foi feito originalmente.

Um dos mais famosos agricultores ingleses do século dezoito foi Arthur Young (1741–1820). Young realizou trabalhos em vasos para encontrar aquelas substâncias que poderiam melhorar a produtividade das culturas. Ele fez crescer cevada em areia, à qual adicionava materiais como carvão, óleo de máquinas, esterco de galinha, vinho, salitre, pólvora, piche, ostras e numerosos outros materiais. Alguns dos materiais promoveram o crescimento das plantas e outros não. Young, um escritor prolífico, publicou o trabalho intitulado *Annals of Agriculture*, em quarenta e seis volumes, que foi muito considerado e teve um grande impacto na agricultura Inglesa.

Muitas das publicações envolvendo agricultura nos séculos dezessete e dezoito refletiam a idéia de que as plantas eram compostas de uma substância, e a maioria dos autores, durante esse período, estava buscando este princípio da vegetação. Por volta de 1775, entretanto, Francis Home afirmou que não havia apenas um princípio, mas provavelmente vários, entre os quais se incluíam ar, água, terra, sais, óleo e fogo em um estado fixo. Home acreditava que os problemas da agricultura eram essencialmente aqueles de nutrição das plantas. Ele realizou experimentos em vasos para avaliar os efeitos de diferentes substâncias no crescimento das plantas e fez análises químicas de materiais das plantas. Seu trabalho foi considerado valioso pilar no progresso da agricultura científica.

O descobrimento do O₂ por Priestley foi a chave para outras descobertas que avançaram muito na explicação dos mistérios da vida das plantas. Jan Ingenhousz

(1730-1799) mostrou que a purificação do ar ocorre na presença de luz, mas, no escuro, o ar não é purificado. Juntamente com essa descoberta, ocorreu a afirmação de Jean Senebier (1742-1809), um filósofo e historiador suíço, de que o aumento no peso do salgueiro no experimento de van Helmont foi resultado do ar!

O Pastor protestante Meyer, do principado de Hohenlohe, realizou uma série de observações sobre o uso do gesso, que levaram à sua recomendação em escritos na metade do século 18. Desde então, houve vivo entusiasmo pelo gesso que foi considerado panacéia universal até perceberem-se as restrições e limitações a seu uso (Garola, 1926). Posteriormente, em 1802, a Sociedade Central de Agricultura Francesa (atualmente Academia Nacional) realizou um debate sobre a eficácia do uso de gesso nas leguminosas. Como resultado, foram apresentadas 40 opiniões favoráveis e somente três contra, ficando confirmado que o gesso não apresentava efeito em solos muito úmidos (seis votos de seis votantes), que não pode substituir a adubação orgânica nem a manta vegetal (sete votos de sete) e que não influi, favoravelmente, na produção de cereais (32 votos de 32) (Garola, 1926).

Entretanto, Smith, na Inglaterra, realizou experimentos aplicando gesso e cultivando as leguminosas trevo branco e *Onobrychis sativa* que tiveram aumento de produtividade, freqüentemente, em 33 % e, algumas vezes, duplicando-a. Em alguns solos, não se obteve resposta à adição de gesso como nos da Escola de Agricultura de Grignon. Posteriormente, com base em trabalhos sobre uso do gesso, especialmente os de Boussingault, Garola (1926) afirmou: *Concebe-se, que, quando se cultivam cereais de raízes superficiais, importa pouco que a potassa e o amônio fiquem retidos nas camadas superficiais pelas propriedades adsorventes dos solos. Mas, também, compreende-se que não acontece o mesmo com as leguminosas, cujas raízes penetram profundamente no solo, visto que o gesso atua no solo de forma determinada. Seu efeito é transportar as bases a camadas profundas, das que as plantas extraem seus alimentos* (Garola, 1926).

Progresso durante o Século 19

Essas descobertas estimularam a mente de Theodore de Saussure, cujo pai estava familiarizado com o trabalho de Senebier. Ele atacou dois dos problemas nos quais Senebier tinha trabalhado – o efeito do ar e a origem dos sais nas plantas. Como resultado, de Saussure, foi capaz de demonstrar que as plantas absorvem O_2 e liberam CO_2 , o princípio da respiração. Além disso, observou que as plantas poderiam absorver CO_2 e liberar O_2 na presença da luz. Se, entretanto, as plantas fossem mantidas em um ambiente livre de CO_2 , elas morreriam. De Saussure concluiu que o solo fornece somente pequena fração dos nutrientes necessários às plantas, mas ele demonstrou que o solo fornece cinzas e N. Ele efetivamente afastou a idéia de que as plantas geravam espontaneamente o K e afirmou ainda que as raízes das plantas não se comportam como um mero filtro. Além disso, as membranas são seletivamente permeáveis, permitindo entrada mais rápida da água do que dos sais. Ele também mostrou a absorção diferencial dos sais e a inconstância da composição das plantas, que varia com a natureza do solo e com a idade da planta. A conclusão de de Saussure de que o C contido nas plantas vinha do ar não foi imediatamente aceita por seus colegas. Sir Humphrey Davy, que havia publicado seu

livro *The Elements of Agricultural Chemistry*, em 1813, afirmou que, embora algumas plantas pudessem absorver seu C do ar atmosférico, a maior parte era absorvida pelas raízes. Davy estava tão entusiasmado com sua crença que ele recomendava o uso de óleo como fertilizante em função do seu teor de C e H.

A metade do século dezenove até o início do século vinte foi o período em que ocorreu grande progresso na compreensão da nutrição de plantas e da adubação das culturas. Dentre os homens desse período com grandes contribuições está Jean Baptiste Boussingault (1802–1882), um químico francês muito viajado, que estabeleceu uma propriedade na Alsácia, onde levou a cabo experimentos de campo. Boussingault utilizava as técnicas cuidadosas de de Saussure, pesando e analisando os esterços que ele aplicava nos seus experimentos e também as culturas que ele colhia. Ele manteve um balanço que mostrava quanto dos vários nutrientes de plantas vinham da chuva, do solo e do ar, analisava a composição das culturas durante vários estádios de crescimento, e determinou que a melhor rotação de culturas foi aquela que produziu a maior quantidade de matéria orgânica, além daquela adicionada por meio do esterco. Boussingault é considerado por alguns como o pai da experimentação de campo.

Justus von Liebig (1803–1873), um químico alemão, muito efetivamente “fez desabar” o mito do húmus. A apresentação de seu trabalho em respeitado congresso científico mexeu com os conservadores de tal forma que somente alguns cientistas desde aquela época ousaram sugerir que o conteúdo de C nas plantas vem de outra fonte que não o CO₂. Liebig fez as seguintes afirmações:

1. A maior parte do C nas plantas vem do dióxido de C da atmosfera.
2. H e O vêm da água.
3. Os metais alcalinos são necessários para a neutralização dos ácidos formados pelas plantas como resultado de suas atividades metabólicas.
4. Os fosfatos são necessários para a formação das sementes.
5. As plantas absorvem tudo indiscriminadamente do solo, mas excretam de suas raízes aqueles materiais que não são essenciais.

Nem todas as idéias de Liebig, entretanto, eram corretas. Ele pensava que o ácido acético era excretado pelas raízes. Ele também acreditava que o NH₄⁺ era a única forma de N absorvida e que as plantas poderiam obter esse composto do solo, esterco ou do ar. Liebig acreditava firmemente que, analisando a planta e estudando os elementos que ela continha, poder-se-ia formular um conjunto de recomendações de fertilizantes com base nessas análises. Era sua opinião, também, que o crescimento das plantas era proporcional à quantidade de substâncias minerais disponíveis nos fertilizantes.

A *lei do mínimo*, estabelecida por Liebig, em 1862, é um guia simples, mas lógico, para se fazer a previsão das respostas das plantas à adubação. Essa lei diz o seguinte:

“cada campo pode conter a disponibilidade mínima de um mínimo de um ou mais nutrientes. Com esse mínimo, seja calcário, K, N, ácido fosfórico, magnésia ou qualquer outro nutriente, as produtividades apresentam uma

relação direta com o suprimento deste nutriente em menor disponibilidade. Este é o fator que governa e controla ... produtividades. Se o mínimo for calcário ... a produtividade ... será a mesma e não maior mesmo se as quantidades de K, sílica, ácido fosfórico, etc ... sejam aumentados em cem vezes”.

A lei do Liebig, ou lei do mínimo, dominou o pensamento dos pesquisadores na agricultura por muito tempo e ainda tem importância universal no manejo da fertilidade do solo.

Liebig produziu um fertilizante com base nas suas idéias de nutrição de plantas. A formulação de uma mistura fazia sentido, mas ele cometeu um erro fundindo sais de K e P com calcário. Como resultado, o fertilizante foi um completo fracasso. Não obstante, as contribuições de Liebig para o desenvolvimento da agricultura foram monumentais, sendo ele, muito merecidamente, reconhecido como o pai da química agrícola. Outro fato marcante após o famoso trabalho de Liebig foi o estabelecimento, em 1843, de uma estação experimental agrícola em Rothamsted, na Inglaterra. Os fundadores dessa instituição foram J.B. Lawes e J.H. Gilbert. Os trabalhos realizados nessa estação experimental seguiam a mesma linha daqueles efetuados por Boussingault, na França.

Lawes e Gilbert não acreditavam que todas as afirmações de Liebig eram corretas. Doze anos após a fundação da estação de Rothamsted, eles apresentaram os seguintes pontos:

1. As culturas necessitam de ambos, P e K, mas a composição da cinza das plantas não constitui uma medida das quantidades desses elementos necessárias à planta.
2. Culturas não-leguminosas necessitam do fornecimento de N. Sem este elemento, não se obterá crescimento, independentemente das quantidades de P e K presentes. A contribuição da quantidade de N da forma de amônia, pela atmosfera, é insuficiente para as necessidades das culturas.
3. A fertilidade do solo poderia ser mantida por alguns anos por meio de fertilizantes químicos.
4. O efeito benéfico do pousio está no aumento da disponibilidade de compostos de N no solo.

Por muito tempo, e mesmo hoje em alguns lugares, os agricultores foram relutantes em acreditar que a fertilidade poderia ser mantida somente pelo uso de fertilizantes minerais. Os primeiros trabalhos em Rothamsted, entretanto, provam, de maneira conclusiva, que isso pode ser feito. Uma das provas mais inquestionáveis nesse sentido é o relato do experimento denominado Broadbalk Winter Wheat, comparando fertilizantes orgânicos e minerais, iniciado em 1843, e utilizado até hoje (Lawes Agricultural Trust, 1984). Desde o início, vêm sendo aplicados, anualmente, uma série de tratamentos. De 1979 a 1983, portanto 150 anos após o início do experimento, foi colhido trigo sarraceno, cujos valores de produção média (cinco anos) aparecem dentro das respectivas colunas (Figura 1).

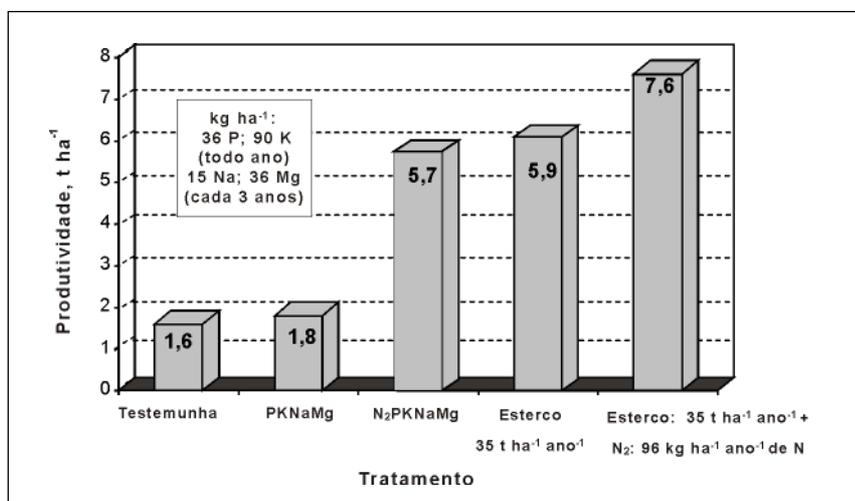


Figura 1. Resumo de alguns tratamentos referentes ao mais antigo experimento de adubação ainda sendo realizado, na estação experimental de Rothamsted, Inglaterra, comparando adubação orgânica e adubação mineral. Os dados referem-se aos resultados médios de produção de trigo no período de 1979 a 1983, após 150 anos de aplicação dos tratamentos mostrados na base das respectivas colunas.

Fonte: Lawes Agricultural Trust (1984).

É óbvio que uma aplicação anual de 35 t ha⁻¹ de esterco de curral (o que envolveu grande volume de material e trabalho intenso para aplicação ao solo), durante 150 anos, pode substituir a adubação com fertilizantes minerais. É também óbvio que a adubação mineral balanceada, que produziu a média de 5,7 t ha⁻¹, pode substituir a adubação orgânica e que o simples enriquecimento da adubação orgânica com 96 kg ha⁻¹ de N de fonte mineral por ano levou às maiores produções.

O problema do N do solo e das plantas permanecia sem solução. Vários estudiosos tinham observado o comportamento não convencional das leguminosas. Em alguns casos, elas cresciam bem sem a aplicação de N, enquanto, em outras situações, não havia crescimento das plantas. Plantas não-leguminosas, por outro lado, sempre deixavam de crescer quando havia insuficiente N no solo.

Em 1878, alguma luz surgiu nessa confusão, pelo trabalho de dois bacteriologistas franceses, Theodore Schloessing e Alfred Müntz. Esses cientistas purificaram água de esgoto, fazendo-a passar por um filtro feito de areia e calcário. Eles analisaram o filtrado periodicamente, e, por vinte e oito dias, somente detectaram amônia. No fim desse período, começou a aparecer nitrato no filtrado. Schloessing e Müntz encontraram que a produção de nitratos poderia ser paralisada pela adição de clorofórmio e que poderia ser reiniciada pela adição de um pouco de água de esgoto. Eles concluíram que a nitrificação era resultado da ação bacteriana.

Os resultados destes experimentos foram aplicados a solos por Robert Warrington, na Inglaterra. Ele mostrou que a nitrificação poderia ser paralisada pelo bi-sulfeto de C e clorofórmio e que o processo poderia ser reiniciado pela adição de solo não esterilizado.

Ele também demonstrou que a reação era um fenômeno que ocorria em duas fases, primeiro a amônia sendo convertida em nitrito e, subseqüentemente, em nitrato.

Warrington, entretanto, não foi capaz de isolar os organismos responsáveis pela nitrificação. Esta tarefa foi resolvida por S. Winogradsky, que fez o isolamento usando uma placa com sílica-gel, em vez do meio de cultura de ágar, porque esses organismos são autotróficos e obtêm seu C do CO₂ da atmosfera.

Com referência ao comportamento errático das plantas leguminosas em relação ao N, dois alemães, Hellriegel e Wilfarth, em 1886, concluíram que uma bactéria deveria estar presente nos nódulos das raízes das leguminosas. Mais tarde, estes organismos foram associados à sua capacidade de assimilar N₂ gasoso da atmosfera para convertê-lo em uma forma que poderia ser utilizada por plantas superiores. Esta foi a primeira informação específica em relação à fixação de N₂ pelas leguminosas. Hellriegel e Wilfarth utilizaram, como base para os seus argumentos, as observações feitas em alguns dos seus experimentos. Eles, entretanto, não isolaram os organismos responsáveis por esse processo. Isto foi feito mais tarde por M.W. Beijerinck, que chamou o organismo de *Bacillus radicícola*.

Desenvolvimento da Fertilidade do Solo nos Estados Unidos

Apesar de os avanços na agricultura do século dezoito terem sido alcançados, em sua maioria, no continente europeu, poucas contribuições de americanos foram suficientemente importantes para serem mencionadas. Em 1733, James E. Oglethorpe estabeleceu uma área experimental nas encostas íngremes do Rio Savana, onde hoje se localiza a cidade de Savana, na Georgia. A área era dedicada à produção de culturas alimentícias exóticas e era citada como um lugar de “belezas”, enquanto foi mantida. Houve perda de interesse por ela que logo deixou de existir. Como essa área foi na maior parte resultado do interesse de britânicos, provavelmente ela não pode ser considerada, em sua essência, como um empreendimento americano.

Benjamin Franklin demonstrou, na metade do século 18, o valor do gesso agrícola. Em uma colina em sua propriedade, ele aplicou gesso num padrão de distribuição com a seguinte frase: “Esta terra foi gessada”. O aumento de crescimento da pastagem na área onde o gesso havia sido aplicado serviu como uma demonstração efetiva do seu valor como fertilizante.

Em 1785, uma sociedade foi formada na Carolina do Sul e tinha, entre seus objetivos, o estabelecimento de uma fazenda experimental. Onze anos após, o Presidente Washington, em sua mensagem anual ao congresso, defendeu o estabelecimento do comitê nacional de agricultura. Algumas das contribuições mais importantes para a agricultura americana no passado foram feitas por Edmond Ruffin, da Virgínia, entre 1825 e 1845. Acredita-se que ele tenha sido um dos primeiros a utilizar calcário em solos da região úmida para repor nutrientes perdidos pela remoção das culturas e lixiviação. Ruffin era um observador cuidadoso, um estudioso e possuía uma mente aguçada e inquisitiva. Apesar de ser o uso do calcário para aumentar a produção das culturas conhecido em outros continentes, essa foi aparentemente uma nova experiência na América.

Foi somente em 1862 que o Ministério da Agricultura foi estabelecido, e, no mesmo ano, a Lei Morrill levou ao estabelecimento das escolas estaduais de agricultura. A primeira estação experimental agrícola estabelecida em 1875, em Middletown, Connecticut, teve suporte de fundos estaduais. Em 1877, a Carolina do Norte estabeleceu uma unidade semelhante, seguindo-se New Jersey, New York, Ohio e Massachusetts. Em 1888, a lei Hatch levou à implantação de estações experimentais estaduais que seriam operacionalizadas, em conjunto, com os land-grant colleges, e uma dotação anual de US\$15.000,00 foi disponibilizada para cada estado como suporte. Apesar de os primeiros trabalhos experimentais terem sido muito mais demonstrações de resultados, uma metodologia científica nos estudos dos problemas da agricultura foi gradualmente desenvolvida no país.

A idéia de proceder à extração de nutrientes de solos com ácidos para determinar sua fertilidade persistia, e E. W. Hilgard (1833–1916) estabeleceu que a solubilidade máxima dos minerais do solo em HCl foi obtida quando o ácido tinha peso específico de $1,115 \text{ kg L}^{-1}$ ($\approx 7,9 \text{ mol L}^{-1}$), o que corresponde à concentração do ácido obtida após fervura prolongada. Hilgard deu significância particular para esse fato. A digestão em ácido forte tornou-se muito popular e análises de solos foram feitas por esse método. Mais tarde, foi mostrado que havia pouca fundamentação para assumir que esta técnica poderia obter dados de maior valor e o seu uso foi descontinuado.

Dois cientistas que muito contribuíram para o desenvolvimento do interesse por fertilidade do solo nos Estados Unidos foram Milton Whitney e C.G. Hopkins. No início do século 20, eles engajaram-se em uma controvérsia que atraiu atenção nacional e que, de fato, tornou-se muito amarga. Whitney defendia que o suprimento total de nutrientes nos solos era inexaurível e que o fator importante sob o ponto de vista de nutrição de plantas era a taxa pela qual estes nutrientes iam para a solução do solo. Hopkins, por outro lado, acreditava que essa filosofia iria levar à exaustão do solo e a sério declínio na produção das culturas. Ele fez um levantamento dos solos de Illinois e considerou a fertilidade do solo comparável a um sistema semelhante à “contabilidade”. Como resultado desses estudos exaustivos, ele concluiu que os solos de Illinois necessitavam apenas de calcário e P. Ele pregou essa doutrina de forma tão eficaz que o uso de calcário e fosfato de rocha nas culturas do milho, aveia e rotações com trevo foi uma prática contínua nesse Estado por muitos anos.

A controvérsia entre Whitney e Hopkins finalmente diminuiu. As idéias de Whitney foram mostradas, pelo menos parcialmente, incorretas, mas os argumentos conflitantes muito fizeram para estimular o pensamento dos cientistas agrícolas desse período.

Logo na virada do século 20, a maior parte das estações experimentais tinha parcelas experimentais no campo que mostravam os benefícios extraordinários da adubação. Como resultado desses experimentos, os principais problemas de fertilidade do solo podiam ser geralmente delimitados. Foi mostrado, por exemplo, que havia generalizada necessidade de fertilizantes fosfatados, que K era geralmente deficiente nos solos da região da planície costeira, e que N era particularmente deficiente nos solos do sul do país. Os solos a leste do rio Mississippi eram geralmente ácidos e precisavam de calcário, enquanto aqueles a oeste desse rio eram, regra geral, bem supridos de Ca. Embora um

quadro geral do estado de fertilidade dos solos dos Estados Unidos tenha sido razoavelmente bem definido, logo se tornou aparente que recomendações generalizadas de fertilizantes, com base nesse conhecimento, não deveriam ser feitas. Cada propriedade requeria atenção individual, assim como cada talhão da propriedade. O interesse por análises para avaliação da fertilidade do solo “explodiu” mais uma vez.

Durante os últimos 30 anos, muito progresso foi alcançado no sentido de compreender os problemas de fertilidade do solo. Enumerar os estudos cujas contribuições levaram ao progresso no conhecimento iria requerer muito mais espaço do que o disponível neste capítulo. Esses avanços não foram de trabalhos de cientistas de um único país. Os ingleses, que começaram seus trabalhos ao redor de 1600, continuaram a dar grandes passos nesse sentido. Os pesquisadores da França, Alemanha, Escandinávia, Rússia, Canadá, Austrália, Nova Zelândia, assim como dos Estados Unidos e outros países, solucionaram muitos problemas que dificultavam o progresso da ciência. Os frutos desses estudos são aparentes em todos os lugares, fazendo com que a produção agrícola nos países desenvolvidos seja mais alta hoje do que nunca antes, e o mundo livre, de maneira geral, é hoje mais bem alimentado, com melhores vestuários e moradias do que em qualquer época no passado. Isto não poderia ser possível se a produção das culturas hoje estivesse no patamar da Europa durante o “escurantismo” da Idade Média, quando a produtividade média de grãos era de 6 a 10 bushels acre⁻¹ (450 a 750 kg ha⁻¹).

Olhando para o Século 21

À medida que as civilizações entram no século 21 e a população do mundo continua a aumentar, é óbvia a importância de um contínuo aumento na produção de alimentos. Continuidade das pesquisas em todas as fases da produção agrícola é necessária se a população crescente tem de ser alimentada e vestida. Avanços nas pesquisas foram alcançados, nos centros de pesquisas agrícolas e outros, que podem contribuir para o aumento da produção agrícola no futuro.

Alguns dos avanços aparecendo no horizonte, ou, de fato, já colocados em prática, mostram grandes perspectivas para aumentar a produtividade das culturas e aumentar a eficiência da produção agrícola. Estes avanços vão colocar pressão adicional na terra e farão aumentar ainda mais a importância que a fertilidade do solo exerce na produção das culturas.

Sensoriamento remoto, constituído de fotografias infravermelhas tomadas de grandes altitudes, é usado para determinar as condições das culturas. Problemas relativos a solos, irrigação ou controle de pragas e doenças podem, freqüentemente, ser detectados e corrigidos a tempo de prevenir sérias diminuições na produtividade.

Pesquisas têm demonstrado que o plantio direto pode aumentar a eficiência de uso da água e diminuir a erosão do solo com aumento na produtividade das culturas (veja capítulo XV). Este tipo de manejo pode ter efeito considerável nas exigências das culturas em relação a certos nutrientes, especialmente N, P, K e S; no entanto, mais pesquisas são necessárias para desenvolver práticas adequadas de fertilidade do solo para utilização no plantio direto.

Em muitas áreas nos mais diversos países, grandes extensões de terra que eram consideradas marginais para a produção das culturas por causa da falta de água estão hoje com altas produtividades em decorrência do desenvolvimento de sistemas de irrigação com pivot-centrais. Poços são perfurados no centro desses campos, a água é transferida para as lavouras por aspersores ligados a tubos condutores alto-propelidos que se movem em círculos sobre a área. Centenas de hectares podem ser irrigados com os maiores sistemas. Fertilizantes fluidos e pesticidas podem também ser distribuídos por esses sistemas. Em decorrência da eliminação de umidade do solo como fator limitante ao crescimento de plantas, pode-se obter maior eficiência no uso de fertilizantes e os custos de produção podem diminuir. Para que essas fontes de água de alto custo sejam utilizadas do modo mais eficiente pelas culturas, o suprimento de nutrientes deve ser otimizado.

Em muitas regiões semi-áridas do mundo, existem desenvolvimentos promissores na captação de água e uso mais eficiente da umidade para a produção das culturas. Sistemas de produção das culturas envolvendo esses métodos de manejo da umidade do solo, em conjunto com outros fatores para a obtenção de altas produtividades, tais como: adubação, variedades e híbridos e época de plantio, precisam ser continuamente estudados.

A eficiência da irrigação é um tema importante em várias áreas do mundo que apresentam limitado suprimento de água para uso agrícola. Irrigação por gotejamento pode reduzir em 50 % a água atualmente em uso nos sistemas convencionais de irrigação. Necessidade de fertilizantes e sistemas para sua aplicação sob irrigação por gotejamento precisam de mais estudos.

Análise de solos e de plantas como instrumentos para determinar as necessidades de calcário e de fertilizantes para as culturas tem sido utilizada por muitos anos. A utilização dessas técnicas continua e está aumentando. Entretanto, número considerável de informações adicionais é necessário antes dessas análises se tornarem mais do que guias refinados de calagem e adubação das culturas. Adubação foliar com outros nutrientes, além dos micronutrientes, promete tornar-se uma prática agrícola em algumas áreas. Entretanto, em decorrência de resultados inconsistentes, mais pesquisas são necessárias para determinar quais as condições são determinantes para obtenção de respostas desse método de adubação.

Melhorias têm sido obtidas e deverão continuar a ser alcançadas no desenvolvimento de materiais fertilizantes mais eficientes. Alguns dos materiais que têm sido ou estão sendo desenvolvidos incluem os fertilizantes nitrogenados de liberação lenta, polifosfatos de alta concentração, compostos magnesianos adequados para uso em fertilizantes fluidos completos, micronutrientes na forma de quelatos e fertilizantes com altos teores de S para uso em fertilizantes sólidos e líquidos.

Concomitantemente ao desenvolvimento dessas novas tecnologias e produtos, deve-se efetuar uma avaliação contínua de sua eficiência por meio de experimentos de curto e longo prazo. Esse tipo de experimentação no campo é uma exigência necessária ao contínuo aumento da eficiência de produção das culturas. Altas produtividades das culturas impõem diferentes exigências de nutrientes. Doses de fertilizantes que dão

respostas satisfatórias com produtividades do milho de 8 t ha^{-1} não serão adequadas aos tetos de produtividades de 12 t ha^{-1} ou mais. Além disso, com a calibração das análises de solos geralmente obtidas anos atrás, doses dos nutrientes necessárias para teores diferentes de análises de solo podem ser muito baixas para as altas produtividades das culturas hoje obtidas e maiores ainda no futuro.

Um novo desenvolvimento aparece com destaque no horizonte, o qual pode ter um impacto profundo na produção agrícola e no desenvolvimento recente da ciência: a genética molecular. Por meio desta técnica de transplante de genes, qualidades desejáveis de um gênero ou espécie podem ser transferidas para outra. Se e quando esta ciência tornar-se perfeita, é concebível que maior eficiência fotossintética, mais altos teores de proteínas e vitaminas, melhor resistência a doenças e pragas, e outros fatores podem ser introduzidos em outras espécies desejáveis de culturas. Estas alterações genéticas poderão causar grande impacto nas exigências nutricionais e, conseqüentemente, nas práticas de adubação.

Progressos na agricultura dependem de pesquisas de alta qualidade. Para cada problema resolvido por um cientista, hoje, muitos outros aparecem. Pesquisadores agrícolas devem investigar questões de natureza fundamental, aquelas que tratam mais do *por que* das coisas do que do *o que*.

Não é objetivo deste capítulo cobrir todos os eventos significativos do desenvolvimento da ciência da Fertilidade do Solo. Muitos dados foram omitidos e muito mais poderia ser escrito. Certamente, os avanços obtidos no fim do século 19 e no século 20 foram grandemente responsáveis pelo estágio atual de nosso conhecimento. Esses avanços foram apenas superficialmente cobertos neste capítulo, mas, nos capítulos seguintes deste livro, confirma-se a importância desses eventos para o progresso da fertilidade do solo. Em resumo, espera-se que este capítulo dê ao seu leitor algumas idéias em relação ao tempo, esforço e pensamentos que foram dedicados nos últimos 4.500 anos para acumular aquilo que ainda é conhecimento insuficiente.

Fatos Marcantes da Evolução da Fertilidade do Solo no Brasil

A história do desenvolvimento da agricultura no Brasil, desde o seu descobrimento, está diretamente, mas de forma empírica no passado, ligada à fertilidade do solo. Os grandes ciclos da cana-de-açúcar e do café alicerçaram-se, no início, na fertilidade natural dos solos das matas e na migração para novas áreas, quando essa fertilidade natural se exauria.

Passaram-se muitas décadas até que, por meio de observações práticas do início, surgiram trabalhos envolvendo a fertilidade do solo e o uso de fertilizantes orgânicos e minerais, com vistas em estabelecer as bases para a prática da adubação que permitisse a exploração contínua das propriedades rurais.

É muito difícil destacar os fatos mais marcantes da evolução da fertilidade do solo no Brasil, uma vez que, no País, esse segmento do conhecimento é bastante recente como ciência, estando muito mais atrelado a programas envolvendo essa área do conhecimento

do que a pesquisadores individualmente. Entretanto, mesmo com a possibilidade de pecar por omissão, serão relatados, a seguir, alguns pontos importantes da evolução dessa área do conhecimento da Ciência do Solo no Brasil, bem como sua implicação na produtividade das culturas até os dias atuais.

Trabalhos Pioneiros em Fertilidade do Solo e Adubação

Segundo Heitor Cantarella, Pesquisador do Instituto Agronômico de Campinas (IAC), o primeiro diretor do IAC, 119 anos atrás, o austríaco Dr. Franz W. Dafert, profundo conhecedor da química agrícola de sua época, trouxe para o Brasil a experiência européia sobre análise de solo e, no primeiro relatório da então Estação Agronômica de Campinas, em 1889, estão os registros das análises de solos pioneiras no Brasil. Em 1892, o IAC já realizava análises de solo para cafeicultores paulistas, fornecendo pareceres sobre adubação. Nessa época, já havia uma publicação do IAC sobre métodos para a determinação de N em solos. Os demais métodos empregados em análise de solo foram publicados em 1895 pelo Dr. Bolliger, outro químico importante que trabalhava no IAC na época.

Em 1895, foi publicado um dos primeiros trabalhos sobre fertilidade do solo no Brasil, de autoria do Dr. Franz W. Dafert, que fornece detalhes sobre a análise química de fertilizantes orgânicos, na época chamados de “*estrumes nacionaes*” (Dafert, 1895). Até àquela época, os fertilizantes utilizados nas lavouras eram basicamente produtos orgânicos, dos quais se tinha pouca informação sobre características químicas, composição e modos de aplicação.

As análises químicas, realizadas no então Instituto Agronômico do Estado de São Paulo, hoje IAC, envolviam a determinação em partes por mil de “*agua, substancias organicas, azoto, acido phosphorico, potassa, soda, cal, magnesia, acido sulfúrico, chloro e fluor, acido silicico e areia, oxydo de Fe e alumina*” nos mais diferentes tipos de esterco animais produzidos nas fazendas: compostos, excrementos humanos, casca de café, palhas de milho e feijão, turfa, bagaço de cana, restos de criação (ossos, chifres, cabelos, sangue, etc.), além de outros estrumes como resíduos da fabricação do gás de iluminação, apatita, cinzas de bagaço de cana, resíduos de destilação da cana, bagaço de sementes de oleaginosas, restos de curtume e serragem (Figura 2).

Em relação ao composto, assim dizia o autor:

“O estrume denominado composto é uma mistura de todos os resíduos, restos e mais substancias sem valor immediato, existentes ou produzidas na fazenda, reunidas e preparadas para fins de estrumação. Todas as cinzas da cozinha das caldeiras, ás vezes também das roças, reboco, folhas colhidas, matto capinado, lama de tanques, lixo, resíduos de cozinha (feijão, café), palha de milho, sangue, cabellos, ossos, etc., bem misturados e depositados em covas ou túmulos até á decomposição completa, dão um estrume de primeira ordem, cuja composição naturalmente dependerá dos componentes empregados”.

ESTERCOS ANIMAIS - 1.000 partes contêm:												
PROCEDÊNCIA	Água	Substrato orgânico	Azoto	Ácido phosphórico	Potássio	Soda	Cal	Magnésio	Ácido sulfúrico	Cloreto e fluor	Ácido silícico e areia	Óxido de ferro e alumínio
Esterco fresco (com palha) de cavalo	713	254	5,8	2,8	5,3	1,0	2,1	1,4	0,7	0,4	17,7	1,1
Esterco fresco (com palha) de gado bovino	775	203	3,4	1,6	4,0	1,4	3,1	1,1	0,6	1,0	8,5	0,5
Esterco fresco (com palha) de carneiro	646	318	8,3	2,3	6,7	2,2	3,3	1,8	1,5	1,7	14,7	2,4
Esterco fresco (com palha) de porco	724	250	4,6	1,9	6,0	2,0	0,8	0,9	0,8	1,7	10,8	0,7
Esterco ordinário (fresco)	750	212	3,9	1,8	4,5	1,3	4,9	1,2	1,0	1,3	10,8	-
Esterco ordinário parcialmente fermentado	750	192	5,0	2,6	6,3	1,9	7,0	1,8	1,6	1,9	16,8	-
Esterco ordinário totalmente fermentado	790	145	5,8	3,0	5,0	1,3	8,8	1,8	1,3	1,6	17,0	-
Água de esterco	982	7	1,5	0,1	4,9	1,0	0,3	0,4	0,7	1,2	0,2	-
Esterco fresco de pato	566	262	10,0	14,0	6,2	0,5	17,0	3,5	3,5	-	28,0	-
Esterco fresco de ganso	771	134	5,5	5,4	9,5	1,3	8,4	2,0	1,4	-	14,0	-
Esterco fresco de galinha	560	255	16,3	15,4	8,5	1,0	24,0	7,4	4,5	-	35,2	-
Esterco fresco de pomba	519	308	17,6	17,3	10,0	0,7	16,0	5,0	3,3	-	20,2	-

Figura 2. Resultado de análises químicas de alguns estrumes nacionais realizadas no Instituto Agrônomo do Estado de São Paulo.

Fonte: Dafert (1895).

Quanto ao uso de esterco, principalmente o de bovinos, o autor já mencionava estratégias que permitiriam a sua concentração em determinados lugares, para facilitar a coleta e distribuição:

“Muitas vezes se ouve dizer que o esterco pôde ser muito bom para as plantas, mas que não se pôde obtel-o porque os nossos animaes estão no pasto”. Tal objecção tem certo fundamento. É verdade que será muito mais fácil trabalhar com esterco, quando todos os animaes estiverem em estábulos.

Enquanto não cultivamos forragens boas tão extensamente que possamos dispensar todos os pastos – e isto não se dará talvez mais neste seculo – precisamos nos accommodar ao facto de que a maior parte dos nossos animaes passeiem pelos gramados. Mas não há meio de obter apezar disto uma parte considerável do seu esterco?

Respondemos sem exitação – sim –. Construamos por exemplo em nossos pastos ranchos abertos, baratos e acostumemos os nossos animaes a comerem alli o seu milho e sal, a entrarem de noite, durante a chuva, etc. O resultado será que nos depositarão nestes ranchos grande parte do esterco que sem elles estaria perdido. Teremos assim ganho mais uma cousa: a preservação dos animaes, pois, achamos que não haverá pessoa alguma que affirme que é bom para uma vacca de leite, para um boi de trabalho, para uma besta de montaria, permanecer num calor de 60 °C durante horas e horas para receber

depois uma chuva de pedra nas costas ou a geada de noite. Civilizemos um pouco nosso gado; tiremos-lhe um pouco da liberdade e tornemol-o um pouco mais productivo”.

Deve-se destacar, ainda, neste documento, o que talvez tenha sido uma das primeiras menções sobre a ocorrência de rochas fosfáticas no Brasil, quando, em 1891, o Dr. Orville A. Derby chamou a atenção do governo de São Paulo:

Snr. Presidente. – No curso dos estudos que estão sendo feitos pela Comissão á meu cargo para uma Memoria geológica sobre as jazidas de Fe de Ipanema, acaba-se de verificar um facto que julgo de meu dever trazer ao conhecimento do Governo sem esperar a publicação da dita Memoria.

Em muitas amostras de minereo de Fe e em outras rochas do lugar nota-se a presença do mineral Apatite, ou phosphato de cal, facto este que faz lembrar a associação analoga em muitas das famosas minas de Fe de Suécia e Noruega. Este mineral, cuja mistura com os minereos de Fe é extremamente prejudicial, por introduzir phosphoro no producto do forno, é, de seu lado, de consideravel importancia industrial para o fabrico de estrumes fertilizados.

Pesquisas feitas com o intuito de determinar (tanto quanto for necessario para poder formar o juizo seguro sobre a possibilidade de seu aproveitamento industrial) a quantidade e a qualidade das jazidas de Apatite, deram o mais satisfactorio resultado. A rocha contendo Apatite, que está á mostra em dois pontos diversos, indica uma possança relativamente enorme, talvez não inferior a do próprio minereo de Fe. Três amostras tiradas em diversos pontos e submetidas á analyse deram, de acido phophorico: 16,36 a 30,38 %.

Sendo este theor em acido phosphorico superior ao de muitos Phosphatos que são aproveitados na industria, ha bem fundados motivos para acreditar que as jazidas de Ipanema possam servir de base de uma industria que seria lucrativa para os emprehedores e de vantagem incalculavel para a Lavoura brasileira.

Além do theor relativamente alto do elemento fertilizante, ha em Ipanema uma outra circumstancia extremamente favoravel que não me consta existir em nenhuma das jazidas de Apatite, até hoje exploradas. É que, em virtude da decomposição profunda da rocha, que tem respeitado a Apatite enquanto transformou em barro as impurezas com que ella se acha misturada, é muito facil, por meio de uma lavagem muito rapida e economica, obter o mineral em estado de pureza quase absoluta. – Saude e fraternidade. – Ao Muito Digno Presidente do Estado de S. Paulo. – S. Paulo, em 30 de Novembro de 1891. – Assignado: Dr. Orville A. Derby, Chefe da Commisão Geographica e Geológica do Estado de S. Paulo.

Outro trabalho bastante amplo e que merece destaque foi o do Professor Dr. Paul Wagner sob o título: *“A aplicação de adubos artificiaes na cultura das arvores fructiferas, legumes, flores e nos jardins”*, traduzido do alemão, com autorização do autor pelo diretor, em 1893 (Wagner, 1985). Foi, talvez, um dos mais completos guias de recomendação de adubação em português, publicados até então, embora essas recomendações não tenham sido baseadas em uso de técnicas da diagnose da fertilidade do solo, como as análises de solos e a foliar, comuns nos dias atuais. Inicia com uma discussão sucinta sobre de que substâncias vive a planta e quais as substâncias mais importantes para a adubação das plantas, nos capítulos I e II. No capítulo III, é feita uma descrição detalhada dos adubos mais importantes para árvores frutíferas e legumes, para as flores e jardins existentes no mercado (*escoria de Thomas e superphosphato, salitre chileno e sulfato de ammoniaco, chlorureto de K e sulfato de potassa, farinha de chifre, resíduos de sementes oleaginosas, os chamados saes alimentícios puros – phosphato de K, phosphato de ammoniaco e azotato de potássio – , e mistura de saes alimentícios para plantas de jardim em vasos*).

Um aspecto interessante dos chamados *saes alimentícios* mencionados anteriormente é que estes talvez se constituam numa das primeiras menções de fertilizantes foliares ou de fertirrigação no Brasil, nas palavras textuais do autor:

“Chamarei sal alimentício uma mistura de saes de estrumação concentrados, que recommendo para a estrumação de jardins e de plantas em vasos. O sal alimentício compõe-se de: 30 partes de phosphato de ammoniaco; 25 de azotato de sódio (salitre do Chile); 25 de azotato de K e 20 de sulfato de ammoniaco e em 100 partes contêm 13 partes de acido phosphorico, 13 de azoto e 11 de potassa. Esta mistura de saes que se pôde mesmo preparar ou comprar em qualquer negocio de estrumes, é applicavel a todas as culturas. Escolheu-se, segundo a proporção das substancias alimenticias, de modo que corresponda mais ou menos á necessidade media de estrumação das varias plantas de cultura, e, na escolha dos saes alimentícios, foi considerado que entre os ácidos e as bases (também das substancias accessorias que existem em quantidades mínimas) procure-se obter a relação equilibrada. É muitíssimo recommendavel o emprego do sal alimentício em fôrma de solução, contendo 1 g de sal em 1 litro de água”.

Nos capítulos IV e V, procurou-se responder a duas perguntas: *Quaes as condições do solo e da cultura mais favoráveis ao bom efeito dos adubos?* e *Os adubos do commercio podem também exercer má influencia sobre as plantas?*

No capítulo VI, são apresentadas *regras especiaes para uma boa aplicação dos adubos do commercio na cultura das plantas fructiferas, legumes e flores, e nos jardins*. Este tópico envolve não apenas recomendações de adubação para um total de dezessete culturas, em quilos por hectare e gramas por metro quadrado, mas também mostra 21 fotos de dezenas de experimentos conduzidos em vasos onde foram observadas respostas amplamente positivas pelo uso dos mais diferentes tipos e doses desses *adubos do commercio*. A figura 3 é um exemplo desses resultados obtidos com a cultura da cevada pelo uso de $\frac{1}{4}$ g de acido

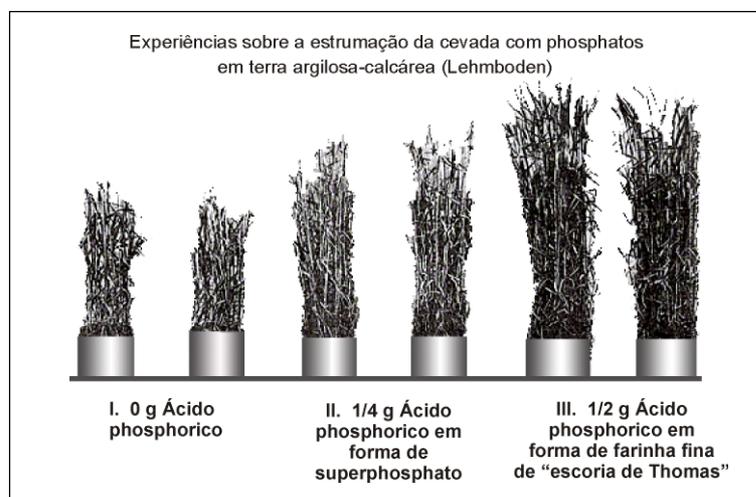


Figura 3. Efeito de fontes e doses de fósforo na forma de superfosfato e escoria de Thomas na cultura da cevada.

Fonte: Wagner (1895).

phosphorico em forma de superphosphato e 1/2 g de acido phosphorico em forma de farinha fina de escoria de Thomas, comparado com o tratamento testemunha, sem acido phosphorico, em vasos que foram estrumados com azoto e potassa. Fica-se a imaginar o sucesso que uma publicação como essa deve ter tido naquela época!

Um dos primeiros trabalhos, com características de experimento de campo, envolvendo a adubação em solos da região dos Cerrados, foi desenvolvido no início de 1900 (Embrapa, 2000). Em 1907, a Diretoria de Agricultura, Comércio e Colonização noticiou que fora estabelecido, no dia 14 de agosto, “um pequeno campo de experiência, com área de um alqueire (4,84 ha) nas proximidades de Sete Lagoas, em terreno de Cerrado, onde se poderia verificar a utilização e o comportamento das culturas”. A área citada localiza-se no Distrito de Wenceslau Braz, município de Sete Lagoas (onde hoje se situa o 4º Grupo de Artilharia Antiaérea - 4º GAEE).

Era uma experiência absolutamente nova. Cerca de 20 % da área central de Minas Gerais, em sua maior parte concentrada em direção ao noroeste, era território de Cerrado, até então considerada uma região de terras pobres e pouco produtivas. Os trabalhos aí encetados foram bem descritos. Cabia ao encarregado dos serviços, o mestre de cultura Américo de Souza Barbosa, roçar, destocar, arar, gradear o terreno, cercá-lo de arame e dividi-lo em quatro partes iguais, sendo três partes adubadas e uma testemunha sem adubação. Esse procedimento prático constituiu-se nos preparativos para a instalação da primeira experiência agrícola sobre manejo dos solos de Cerrado no Brasil Central.

A experiência de Sete Lagoas avaliou a produtividade de milho e feijão sob quatro condições: 1ª) adubação com esterco de curral; 2ª) adubação com escória de Thomas; 3ª) adubação com salitre do Chile; 4ª) testemunha, sem adubação alguma. Como resultado, foi descrito que:

“as plantas das três partes adubadas desenvolveram-se satisfatoriamente, proporcionando grãos nas duas culturas, ao contrário da testemunha, que nada produziu, ou seja, a terra de Cerrado, adubada de modo adequado, era produtiva”.

Programa do IRI

Um dos programas mais importantes envolvendo os aspectos de fertilidade do solo e produtividade das culturas no Brasil foi o iniciado em 1950 pelo Instituto de Pesquisas IBEC, que, em 1963, passaria a denominar-se Instituto de Pesquisas IRI (Harrington & Sorenson, 2004). Fundado pelos irmãos David e Nelson Rockefeller e associados, os fundos para a fase inicial vieram pessoalmente dos irmãos Rockefeller e do “Fundo Irmãos Rockefeller”, que por 14 anos ininterruptos sustentaram os trabalhos num período crítico por envolver as fases de descoberta, confirmação e desenvolvimento inicial do uso das áreas de Cerrados. As fases seguintes de adoção e implementação receberam aportes substanciais da USAID e da Fundação Ford, contando, ainda, com a participação de vários grupos privados dos setores de corretivos, fertilizantes, defensivos e da indústria algodoeira. Várias organizações do governo brasileiro, bem como inúmeras pessoas individualmente, também colaboraram por meio de análises laboratoriais e outros tipos de assistência. Em São Paulo, O Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) e a Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ) foram grandes colaboradores.

Um fato interessante é que uma das missões originais do IRI no Brasil era identificar as razões do declínio da produção de café nas terras exauridas de São Paulo e corrigi-las economicamente. O envolvimento do IRI com os problemas de fertilidade dos solos de Cerrado era originalmente projeto de nível secundário.

Em 1950, quando o IRI iniciou seu trabalho, o sistema tradicional de produção de café no Brasil incluía a derrubada da mata, a queima da madeira e o plantio da lavoura nas áreas desmatadas. A fertilidade natural do solo era explorada por 20 ou 30 anos. Após esse período, a produtividade geralmente declinava abaixo do ponto de interesse, quando então as áreas eram abandonadas e destinadas a pastagens e exploração da pecuária. Esse sistema apresentava inúmeras repercussões negativas. Na medida em que as lavouras de café eram abandonadas e as áreas eram destinadas a atividades com menor demanda de mão-de-obra, como a pecuária e outras culturas menos lucrativas, ocorria uma desagregação nas comunidades locais e suas economias. Já nessa época, a prática de “derrubar e queimar” já havia consumido a maior parte da mata virgem do Estado de São Paulo. Simultaneamente, as plantações de café foram sendo empurradas rapidamente para as regiões de clima marginal do Paraná, onde as geadas constituíam uma ameaça constante.

O Programa de Lavouras de Café, sob o comando de James C. Medcalf, constituía-se num programa prático e focado no campo, tendo como base a Fazenda Cambuhy (também chamada de Fazendas Paulistas), em Matão, Estado de São Paulo, e com a coordenação do Instituto Agrônomo de Campinas, instituição líder na pesquisa do café no Brasil. A maioria dos plantios dessa fazenda deu-se na época do “boom” do café durante a década

de 1920, e grande parte da lavoura estava decadente em termos de produtividade, situação típica das antigas fazendas de café do Estado. Um aspecto amplamente favorável à pesquisa é que havia na fazenda talhões de várias idades e em diferentes tipos de solos, além de excelentes informações a respeito das produtividades dos vários talhões, fertilizantes utilizados, danos de geadas, custos de produção, preços de vendas e outras variáveis.

Um aspecto interessante foi a forma técnica de encarar o problema de degradação da cafeicultura que incluía a revisão de toda a literatura publicada no Brasil e em outros países da América Latina, assim como trabalhos anteriores executados pelos ingleses, na África Oriental, e pelos holandeses, na Indonésia. As informações meteorológicas locais foram exaustivamente estudadas e para conhecer melhor os problemas nutricionais, o Dr. Wreal L. Lott, do IRI, auxiliou o Instituto Agronômico de Campinas a montar o primeiro laboratório de análises foliares da América Latina. Esse laboratório analisava, nas folhas do café, 13 elementos minerais essenciais para crescimento das plantas. Problemas nutricionais ou carências que poderiam limitar a produção do cafeeiro eram examinados da mesma forma com que as análises de sangue são usadas para diagnósticos médicos.

O Programa de Lavouras de Café estudou o uso de técnicas, tais como: calagem, adubações com NPK, irrigação, utilização de micronutrientes quelatizados, cobertura morta, plantio intercalar de leguminosas, problemas de nematóides nas raízes, uso do esterco de curral e outros tratamentos visando ao aumento da produtividade.

Em 1956, o IRI iniciou um Programa Intensivo de Fertilidade de Solos sob a supervisão do Dr. Colin McClung que, além de ter como meta principal a recuperação de solos de antigas matas para a produção de café, visava também identificar os fatores importantes na fertilidade do solo para o desenvolvimento de outras culturas da época, notadamente nos solos dos Cerrados, cujas características tinham alguma similaridade àqueles extremamente degradados oriundos das florestas. Era opinião do Dr. McClung de que a experimentação com o uso de culturas de ciclo curto traria progressos mais rápidos no objetivo final de obter informações economicamente viáveis para a cultura do café, pois esta demandaria cerca de cinco anos para atingir a maturidade e algumas décadas para completar um ciclo de vida. Além disso, o café caracterizava-se pelo ciclo bienal de produção, trazendo complicações adicionais nas interpretações estatísticas confiáveis.

Convencionou-se então que o programa deveria ser iniciado com experimentos em vasos na casa de vegetação, que serviriam como guia para os trabalhos que seriam posteriormente levados para o campo. A visão técnica era de que um largo espectro de possíveis tratamentos poderia ser avaliado nas casas de vegetação, onde o ciclo se completaria em três meses ou menos. O milheto "Pérola" (*Pennisetum americanum*), uma gramínea de crescimento rápido, foi a principal planta-teste. Com base nos resultados da casa de vegetação, os experimentos de campo foram então instalados com milho, soja e algodão, com duração aproximada de até seis meses. Após o acúmulo de um sólido conhecimento a partir desses experimentos, partiu-se para o plantio de café para testar os efeitos dos tratamentos mais promissores.

Em meados de 1958, já existia uma quantidade suficiente de resultados em vasos que justificasse o início de um grupo expressivo de experimentos de campo. Duas

localidades de Cerrados foram escolhidas, uma em São Joaquim da Barra (SP), onde o algodão e a soja foram as plantas-teste, e outra em Anápolis (GO), atendendo ao pedido de Bernardo Sayão, uma figura legendária encarregada de cuidar do planejamento geral do desenvolvimento e construção do novo Distrito Federal (Brasília), preocupado com a capacidade dos solos reconhecidamente pobres dos Cerrados de produzir alimentos para suprir Brasília.

Os resultados obtidos nas produções desses campos demonstrativos indicaram que os solos dos Cerrados eram deficientes em diversos nutrientes para as plantas e que estas respondiam prontamente ao uso de calcário e de fertilizantes. Respostas em termos de crescimento e produtividade foram obtidas com a adição de calcário dolomítico, N, P, K, Zn, S e Mo. As duas localidades apresentaram resultados diferentes, assim como diferentes foram também entre culturas no mesmo local, ficando evidente que havia necessidade de muito mais trabalho de campo para se chegar a uma “sintonia fina” das necessidades de nutrientes e de outros insumos para atingir produtividades mais rentáveis.

Os resultados dessas pesquisas envolvendo a área de fertilidade do solo, ao longo dos anos, foram publicados em 23 boletins técnicos, notas técnicas, dentre outros, das 58 publicações do IRI durante sua história.

Projeto FAO/ANDA/ABCAR

Em 1969, a ANDA (Associação Nacional para Difusão de Adubos) deu início a um ambicioso projeto, visando instalar 500 campos de demonstração de resultados de adubos em lavouras de arroz, milho, feijão e algodão no sul de Goiás, no Triângulo Mineiro e no sul de Minas Gerais. Posteriormente, estes se estenderam para o Mato Grosso e, em 1975, já compreendiam 3.000 campos experimentais.

A inspiradora e parceira do projeto foi a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura (FAO), que há seis anos comandava o mesmo tipo de ação em 17 países. Isso resultou em 45 mil demonstrações de resultados instalados em propriedades rurais para cerca de 1 milhão de agricultores, como um projeto da Campanha Mundial Contra a Fome. Outra importante parceira do programa foi a Associação Brasileira de Crédito e Assistência Rural (ABCAR), entidade à época responsável pela extensão rural em todo o País. Tal foi o êxito do projeto, conhecido como Projeto FAO/ANDA/ABCAR, que ele foi estendido para outras regiões do País em 1972 e chegou aos Estados do Nordeste, da Bahia ao Maranhão, que apresentavam um consumo incipiente de fertilizantes, os quais eram utilizados na cultura da cana-de-açúcar, em Pernambuco, e na do fumo, em Alagoas. Na época, foram instalados 300 ensaios de adubação e 1.500 campos de demonstração envolvendo as culturas do algodão, milho, mandioca, abacaxi, arroz e feijão.

Em 1977, por solicitação do agente financeiro da região, o Banco do Nordeste, o projeto foi prorrogado por três anos e abrangeu mais seis produtos: cana-de-açúcar, soja, citros, mamona, cebola e sorgo. Coordenado pelo escritório regional da ANDA no Nordeste, em Recife, comandado primeiro por Marcos Rocha e depois pelo saudoso Hermano Gargantini, que foi chefe da seção de Fertilidade do Solo do Instituto Agrônomo de Campinas, o trabalho mobilizou o Ministério da Agricultura, Secretarias

Estaduais, Universidades e Órgãos de Pesquisa e Extensão. Em 1977, os ensaios de adubação já eram 750, os campos demonstrativos 3.500 e os Estados alcançados pelo projeto, nove. Nos seis anos que atuou no Nordeste, o projeto FAO/ANDA/ABCAR atingiu 347 municípios. A ANDA atuou com projeto semelhante no Paraná, onde o alvo foram as culturas do milho e do algodão, no Rio Grande do Sul (milho, soja, trigo, arroz), no Espírito Santo (batatinha) e nos Cerrados, com o apoio do IBEC Research Institute (IRI), e nas pastagens da Companhia de Melhoramentos do Norte do Paraná, 1976. Sem dúvida, foi esse o motivo que levou a FAO a adiantar na reunião de Roma, em 1972 que, “dentro os países onde o Programa de Fertilizantes apresenta resultados técnicos positivos e onde existe bom aproveitamento desses resultados, figuram o Brasil, Quênia, Argélia e Indonésia”.

Operação Tatu

Outro programa que influenciou a fertilidade do solo, especificamente em nível regional, no Rio Grande do Sul, foi a famosa Operação Tatu. O relato que segue, adaptado de Freire et al. (2006) e SBCS-CQFS (2004), mostra que, nas décadas de 1950 e 1960, quem de Porto Alegre subisse ao Planalto Riograndense a partir de Soledade encontraria uma só paisagem até o rio Uruguai, para oeste, na fronteira com a Argentina: campos com capim barba-de-bode (*Aristida pallens*), indicador de solo pobre, e uma ou outra pequena lavoura de trigo ou de mandioca. A estrada era pavimentada até São Leopoldo, sendo o centro de cimento, e as laterais, de pedra. Até a fronteira era terra batida, de Santa Maria para o norte, à fronteira de Santa Catarina, a paisagem era a mesma.

Nas cidades, poucas indústrias de máquinas agrícolas rudimentares, “atafonas” para a produção de farinha de mandioca. Aquela paisagem mudava apenas na região de Santa Rosa, com as pequenas lavouras coloniais de milho, mandioca e, principalmente, soja. Esta era comum ser plantada intercalada com outra planta, como milho ou mandioca.

A situação geral da pesquisa agrônômica, especialmente em fertilidade do solo, tinha bases errôneas, isto é, a baixa produtividade. Não se considerava a real necessidade das plantas para o crescimento e produtividade adequados. Adubos e corretivos eram simplesmente taxados de “antieconômicos”. As recomendações técnicas eram para reduzir o uso de insumos: 500 a 1.000 kg ha⁻¹ de calcário; e 50 kg ha⁻¹ de P₂O₅, isto é, doses “homeopáticas”. As respostas eram baixas ou nulas.

Os campos experimentais eram comumente conduzidos com a fertilidade “natural” sem amarração ao tipo e análise de solo. Havia preocupação em muitos centros, para a obtenção de cultivares “rústicos” ou tolerantes, isto é, resistentes à inanição.

O Projeto de Melhoramento da Fertilidade do Solo, denominado “Operação Tatu”, surgiu com a implantação do Curso de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) em 1965. A denominação “Operação Tatu” foi devida à base na coleta de amostras do solo (cavando buracos) para análise química. Nessa época, foram iniciados os trabalhos de pesquisa, visando à identificação dos fatores responsáveis pela baixa produtividade dos solos do Estado do Rio Grande do Sul com destaque para a baixa disponibilidade de nutrientes, especialmente, o P, acidez e teores tóxicos de Al e Mn.

O primeiro município onde foi instalado o projeto foi Ibirubá, sendo executado pelo Departamento de Solos da Faculdade de Agronomia da UFRGS (que à época mantinha um convênio de cooperação técnica com a Universidade de Wisconsin, EUA, pela Secretaria da Agricultura, pelo Ministério da Agricultura por meio do IPEAS e pelo Instituto Rio Grandense do Arroz (IRGA).

Esse trabalho foi repetido em Santa Rosa, expandindo-se, a partir de 1967, para Três de Maio, Tuparendi e Horizontina, sob a coordenação da Associação Rural de Santa Rosa e da Associação Sulina de Crédito e Assistência Rural (ASCAR). Em 1968, já havia solicitação de 80 municípios para participar do projeto, que objetivava corrigir a acidez e a fertilidade do solo, além de controlar a erosão e estimular o emprego de melhores cultivares e a adoção de novas práticas de cultivo.

A comunidade local é que fazia o projeto considerando a necessidade de calcário, fertilizante, crédito, etc., envolvendo o agrônomo, o técnico rural, o agente do banco, o prefeito, as entidades de classe, enfim, os líderes da comunidade. Os estudantes de pós-graduação colhiam as amostras do solo e procediam às análises químicas para determinar a necessidade de calcário, P, K, teor de matéria orgânica e a adubação nitrogenada para as culturas não-leguminosas.

O Banco do Brasil passou a considerar a primeira aplicação de calcário e fertilizantes como investimento (pagamento de três a cinco anos) e as posteriores eram consideradas custeio. Lavouras demonstrativas eram estabelecidas. Caravanas de ônibus de outras regiões iam ver os resultados em Santa Rosa. Para a obtenção de crédito do Banco, era necessário comprovar a análise do solo e a compra de inoculante de rizóbio para a soja. Surgiram então outros laboratórios de análise do solo, além da Secretaria de Agricultura, UFSM, UFRGS, UFPEL, e foi criada a rede Riograndense e Catarinense de Laboratórios de Análise de Solo (ROLAS). Nessa época, a produtividade de soja no Estado era de 1.200 kg ha⁻¹.

Foi então estabelecida e difundida a filosofia para a obtenção de alta fertilidade e alta produtividade. Solos em que a recomendação era de 500 ou, no máximo, 1.000 kg ha⁻¹ de calcário passaram a ter a recomendação de 4.000 a 5.000 kg ha⁻¹ ou mais, para atingir valor de pH 6,0-6,5, além da aplicação de outros fertilizantes, especialmente o P. Nos experimentos e nas lavouras, a produtividade da soja passou de 2.000 para 3.000 kg ha⁻¹ e o rendimento médio no Rio Grande do Sul atingiu 2.200 kg ha⁻¹. O consumo de calcário e de fertilizantes teve alto incremento, além de outras medidas de melhoria de manejo, conservação do solo e variedades mais produtivas.

A Operação Tatu manteve ações intensas até 1974, estendendo-se, pelo menos, até 1976. Uma avaliação dos efeitos desse projeto foi feita por Mielniczuk & Anghinoni (1976), em 20 lavouras, nos municípios de Santa Rosa, Tapera e Espumoso. Após um período de cinco a sete anos da primeira aplicação de calcário, o pH médio passou de 4,8 para 5,6 e a necessidade de calcário de 6,9 para 2,2 t ha⁻¹, o que correspondia a um efeito residual de 50 % em relação à primeira calagem. Os teores de P e K estavam adequados, e os produtores haviam corrigido o solo no restante da propriedade, obtendo altos rendimentos dos cultivos; demonstravam também entusiasmo pela utilização de práticas de melhoria da fertilidade e conservação do solo.

No Estado de Santa Catarina, a partir dos resultados obtidos pela “Operação Tatu” no Estado do Rio Grande do Sul, foi elaborado o Plano de Recuperação da Fertilidade do Solo, em meados de 1968, denominado “Operação Fertilidade”, para ser executado a partir de 1969, com duração prevista até 1975. Os trabalhos de campo foram executados no município de Nova Veneza, região sul do Estado, em 1969, com a instalação de 16 lavouras demonstrativas com a cultura do milho, seguindo as normas técnicas preconizadas pelo “Plano”, dentre elas, adubação corretiva e de manutenção e calagem pelo índice SMP para atingir pH 6,0. Nessas lavouras, foram aplicadas, em média, 8,1 t ha⁻¹ de calcário. O rendimento médio dessas lavouras foi de 5.040 kg ha⁻¹. Nos anos seguintes, o “Plano” se expandiu para todo o Estado, e o consumo de calcário atingiu aproximadamente 50.000 t, em 1970, e 300.000 t, em 1980. Os trabalhos de campo, a partir da safra de 1970/71, foram executados pela Secretaria da Agricultura daquele estado e pela Associação de Crédito e Assistência Rural do Estado de Santa Catarina (ACARESC).

Destacam-se na elaboração e execução do projeto da Operação Tatu da Universidade de Wisconsin, EUA - John Murdock e Marvin Beaty J. R. e pela Faculdade de Agronomia da UFRGS - José G. Stammel, João Mielniczuk, Sérgio Wolkweiss e Egon Klamt, João Rui Jardim Freire; pela ASCAR (Emater) Paulo Kappel, e, como líder local, Pedro Carpenedo, entre outros.

Talvez as maiores contribuições resultantes da Operação Tatu tenham sido a introdução do princípio da calagem total, ou seja, a aplicação, em uma só vez, da quantidade de calcário necessária para corrigir a acidez do solo ao nível desejado e o desenvolvimento do conceito das adubações corretivas (principalmente de P e K), utilizadas na recuperação da fertilidade do solo, hoje difundidas em todo o País.

International Soil Fertility Evaluation and Improvement Project

Em junho de 1963, foi assinado um projeto entre a North Carolina State University e a Agência Internacional de Desenvolvimento dos EUA (USAID), cujos objetivos primários eram: (a) documentar as necessidades em relação à fertilidade do solo e à aplicação de adubos com a finalidade de aumentar a produção agrícola na América Latina, e (b) ajudar governos e agências que quisessem colaborar no desenvolvimento e manutenção de programas adequados de análise de solo. O Dr. R.B. Cate foi indicado como Diretor Regional do Projeto no Brasil e, juntamente com Leandro Vettori, Hermano Gargantini e Raul Edgar Kalchmann e outros, colaborou decisivamente para o sucesso do Programa.

Uma das maiores contribuições desse convênio para o desenvolvimento da análise de solos como um instrumento de diagnose da fertilidade do solo e recomendação de calcário e fertilizantes para a agricultura brasileira foi a instalação, nas décadas de 60 e 70, de uma série de laboratórios com sistemas de pipetagem automática que permitiam a cada laboratório a execução de até 150 análises de rotina por dia. Até então, nos 31 laboratórios brasileiros que realizavam essas análises, a capacidade máxima diária de operação era de 10–20 amostras.

A tarefa de pesagem das amostras de solos já preparadas foi substituída pelas chamadas “cachimbadas”, onde os respectivos volumes uniformes eram medidos em séries de onze amostras, sendo repetida sempre uma amostra controle de características

de fertilidade conhecidas, para aferição dos resultados. A adição das soluções extratoras (KCl, para extração de Ca, Mg e Al, e o extrator Mehlich-1 ($H_2SO_4 + HCl$), para extração do K e P), era feita nos onze erlenmeyers que continham as amostras dispostas em bandejas de Al, por meio de um sistema de pipetagem automática a vácuo. Em seguida, essas bandejas com as amostras eram levadas a um agitador horizontal para o período normal de agitação e extração. Após a agitação e um período de repouso durante a noite, tiravam-se, também via pipetagem automática, onze extratos do líquido sobrenadante por vez. Outros conjuntos de pipetadores eram utilizados para se obterem alíquotas dos extratos de KCl, para a determinação do Ca e Mg trocáveis por titulação com EDTA, e de Al trocável, por titulação com NaOH $0,025 \text{ mol L}^{-1}$; dos extratos do Mehlich-1, onze alíquotas para a determinação de K por fotometria de chama e do P por colorimetria. O pH em água era também determinado em séries de onze amostras num processo semi-automatizado. Os laboratórios mais privilegiados, que já tinham aparelhos de absorção atômica, determinavam, também, Cu, Zn, Fe e Mn no mesmo extrato do Mehlich-1. Posteriormente, foram incluídos sistemas semi-automatizados para a determinação do S, B (este pelo extrator água quente), matéria orgânica, CTC.

Os protótipos desses laboratórios, que permitiam aumentar em cerca de 10 vezes a capacidade diária de análises nos laboratórios já em operação, foram desenvolvidos no Departamento de Ciência do Solo da North Carolina State University pelos Professores J. W. Fitts e Arvel H. Hunter, e os modelos de laboratórios e orientações para a sua fabricação e montagem foram distribuídos sem custo, pelo International Soil Testing Project, em dezenas de países na América Latina.

Deve ser ressaltado o trabalho fantástico do Dr. Leandro Vettori e do “mestre” Juca Abreu, do antigo Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solo, no Rio de Janeiro, que, artesanalmente, fabricavam os componentes básicos desses equipamentos, sendo as bases dos pipetadores fabricados em bronze, estando muitos em perfeita atividade até hoje. Posteriormente, esses pipetadores, diluidores e dispensadores passaram a ser fabricados por empresas que fabricavam instrumentos e equipamentos de laboratório no Brasil.

Além de contribuir para o desenvolvimento da análise de solos no Brasil, esse projeto estabeleceu, por meio de suas inúmeras publicações, orientações básicas de como realizar trabalhos em casa de vegetação e experimentos em campo com o objetivo de melhor calibrar os resultados das análises de solos com as respostas à adubação para diversas culturas. O Programa Nacional de Fertilidade do Solo, coordenado pelo Dr. Leandro Vettori, estabelecido em decorrência do International Soil Testing Project, que, durante muitos anos, funcionou para discutir os resultados desse convênio no Brasil, evoluiu, posteriormente, para as Reuniões Brasileiras de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas e, hoje, para as Reuniões Brasileiras de Fertilidade e Biologia do Solo (FERTBIO).

Tropical Soils Research Project

Iniciado em julho de 1970, sob a responsabilidade também do Departamento de Ciência do Solo da North Carolina State University, EUA, e contando com o apoio financeiro da USAID, por meio do contrato AID/csd 2806, este projeto representou uma suplementação e complementação às atividades do International Soil Fertility Evaluation

and Improvement Project. Os objetivos da fase 1 do projeto foram rever, analisar e interpretar a literatura publicada e outras fontes de informação relacionadas com os fatores de solo que influenciavam a produção das culturas nas regiões tropicais da América Latina e identificar os principais problemas e locais para pesquisas mais aprofundadas a serem desenvolvidas na fase 2 do projeto.

No Brasil, em estreita colaboração com as Universidades de Cornell e da Carolina do Norte (EUA) e pesquisadores do recém-criado Centro de Pesquisas Agropecuárias do Cerrado (CPAC), foram desenvolvidas várias teses de mestrado e de Ph.D., nos anos 70s e 80s, contando com estudantes de outros países e do Brasil, envolvendo os mais diversos aspectos básicos de manejo da fertilidade dos solos sob vegetação de Cerrados, com destaque para: (a) Métodos de recomendação de calcário, profundidade de incorporação e efeito residual; (b) Movimentação de Ca e Mg no solo; (c) Aprofundamento do sistema radicular pelo uso do gesso agrícola; (d) Fontes, doses e métodos de aplicação da adubação fosfatada corretiva e de manutenção; (e) Efeito residual de doses, métodos e épocas de aplicação de P; (f) Movimentação de K no solo; (g) Adubação com K e Mg; (h) Respostas à aplicação de micronutrientes e calibração de análises de solo, e (i) Adubação nitrogenada de culturas anuais, etc. Deve-se enfatizar que muitos dos princípios de manejo da fertilidade dos solos de Cerrado obtidos desses experimentos, notadamente pelos pesquisadores do CPAC: Wenceslau J. Goedert, Edson Lobato, Djalma M. G. de Souza e Enéas Z. Galvão, dentre outros, são válidos e aplicáveis até hoje.

Programas Interlaboratoriais de Controle de Qualidade de Análises de Solos

Um dos aspectos mais importantes ligados à fertilidade do solo e ao uso eficiente de corretivos e fertilizantes é que os laboratórios que se dedicam à execução de análises de solos, como instrumento básico e insubstituível nas tomadas de decisão, apresentem confiabilidade nos seus resultados.

Isso tem sido uma preocupação constante da Seção IV – Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, nos diversos Estados do País, o que levou a um grande esforço daqueles que atuam nesses segmentos no sentido de montarem programas regionais de controle de qualidade de laboratórios de análise de solos.

O primeiro programa regional (ROLAS), envolvendo análises de solo, foi estabelecido nos Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, em 1968, e continua em operação até hoje. Outros programas envolvem os laboratórios de vários Estados que realizam os trabalhos de análise seguindo diferentes orientações, como o sistema IAC, iniciado em 1986, o PROFERT-MG, cuja área de atuação, desde 1987, é principalmente o Estado de Minas Gerais, o CELA-PR, no Paraná, iniciado em 1995, e o PAQLF, envolvendo laboratórios de diversos Estados e, ou, Regiões brasileiras, que utilizam o método da Embrapa desde 1992. Atualmente, 280 laboratórios do Brasil participam desses programas.

O princípio básico de atuação desses programas regionais envolveu, além da inclusão de amostras-controle de solos que são sistematicamente repetidas em relação a certo número de amostras de terceiros (normalmente a décima primeira amostra de uma série automatizada de 11 amostras), no envio periódico, pelo órgão coordenador, de amostras para verificação de possíveis desvios em relação à média dos resultados obtidos

em todos os laboratórios. Anualmente, os laboratórios que estiverem dentro dos padrões preestabelecidos recebem um selo de qualidade para seus resultados. Aqueles laboratórios que não se enquadrarem dentro de um teste de proficiência são orientados no sentido de buscar os motivos de diferenças dos resultados e correção dos mesmos.

Programa Interlaboratorial de Análise de Tecido Vegetal

Este programa de âmbito nacional, ligado à Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, foi criado em 1982, com o intuito de estimular e fomentar a prática da análise de tecido vegetal, que constitui, também, valioso instrumento na avaliação da fertilidade do solo e recomendação de fertilizantes.

Inicialmente, com 15 laboratórios, o Programa teve o objetivo de possibilitar aos seus participantes um diferencial no mercado mas, principalmente, uma maneira de correção de possíveis erros, garantindo uma análise de tecido vegetal correta e confiável a seus clientes.

Sob a coordenação do Prof. Dr. Godofredo Cesar Vitti, da ESALQ-USP (em Piracicaba, SP), desde o ano de 1988, o Programa, que conta com somente similares em nível mundial localizados na Holanda e França, mantém, atualmente, participação efetiva de 119 laboratórios, localizados em todo o território nacional, além de um situado no Uruguai.

O Programa baseia-se no envio de 16 amostras-controle de tecido vegetal, identificadas apenas por um número. A cada ano, materiais vegetais das mais variadas culturas são coletados para compor cada uma delas. Os laboratórios devem enviar os resultados de macro e micronutrientes dessas amostras, respeitando os prazos estabelecidos. Em cada prazo, os resultados de quatro amostras devem ser enviados, dividindo-se, assim, as análises ao longo do ano.

A avaliação dos resultados é realizada por meio de um procedimento estatístico elaborado especialmente para o Programa. Percentagem de acertos e freqüência de envio dos resultados são utilizadas para a avaliação final, e, a partir daí, uma nota é dada. Esta nota ou conceito varia de A a D, de acordo com a faixa de percentagem de acerto do laboratório. Apenas os laboratórios que obtêm conceito A ou B têm direito a um certificado de aprovação e ao uso dos selos de qualidade no ano seguinte ao das avaliações dos resultados.

Recomendações Oficiais de Corretivos e Fertilizantes

Outro aspecto da maior relevância envolvendo fertilidade do solo e produtividade das culturas no Brasil foi o grande esforço de órgãos ligados ao ensino, pesquisa e extensão de vários Estados no Brasil, no sentido de elaborarem, por Estado ou região, recomendações de corretivos e fertilizantes para as mais diferentes culturas com base na análise de solos e, em alguns casos, na análise foliar.

Até o início da década de 60, não havia, no Brasil, trabalhos de correlação e calibração de métodos de análises de solos – e muito menos de análises foliares – como base para a recomendação de corretivos e fertilizantes (veja capítulo XIII). A primeira tentativa neste sentido, de âmbito nacional, foi feita pelo Professor Robert Cate, Diretor Regional do International Soil Testing Project no Brasil em 1965, em um trabalho modesto, mas que foi a base para despertar o interesse sobre o assunto em diversos Estados ou Regiões.

As premissas básicas estabelecidas pelo Dr. Cate foram as seguintes: (1) abaixo de dado teor (nível crítico) de um nutriente no solo (determinado por análise de amostra obtida num laboratório padronizado), a probabilidade de resposta à adubação com este elemento será muito maior do que quando o teor revelado pela análise estiver acima do nível crítico; (2) a quantidade de adubo que pode ser aplicada pelo agricultor depende da relação entre o valor provável da produção e o custo do adubo, e (3) quando os solos estiverem bem abastecidos com P e K e não houver problema de acidez, quase sempre haverá resposta aos adubos nitrogenados (Cate & Vettori, 1968). É interessante notar que, neste trabalho, para aquela época, os critérios para interpretação de P, K, Ca + Mg e Al eram apenas baixos (abaixo do nível crítico) e médio/alto (acima do nível crítico).

Em âmbito estadual ou regional, foram publicados trabalhos muito mais elaborados e completos no Rio Grande do Sul (1969), Goiás (1970), Minas Gerais (1971), Espírito Santo (1977), Paraná (1978), São Paulo (1985), Distrito Federal (1987) e Rio de Janeiro (1988). Edições mais atualizadas dessas recomendações foram elaboradas nos Estados de São Paulo (1996), Pernambuco (1998), Minas Gerais (1999), Espírito Santo (2001), Rio Grande do Sul e Santa Catarina (2004). Para a região dos Cerrados, o livro “Cerrado: Correção do Solo e Adubação”, editado pelos pesquisadores do CPAC, Djalma M. G. de Souza e Edson Lobato, em 2002, atende à filosofia de trabalho adotada em outros Estados e regiões abrangidas pelos Cerrados brasileiros.

Comitê de Qualidade da ANDA

Fator relevante para que se atinja a Produtividade Máxima Econômica das mais diversas culturas é, além do uso de doses adequadas de fertilizantes e corretivos, que esses produtos tenham garantias quanto à sua qualidade.

Foi pensando nisto que a ANDA instituiu, em maio de 1973, sob a responsabilidade do Professor José Carlos Alcarde (da ESALQ-USP), coordenador até os dias atuais, o Programa Interlaboratorial de Metodologia de Análise de Fertilizantes. Esse Programa, que envolveu as empresas associadas à ANDA, teve, como objetivo básico, uniformizar e aferir os trabalhos dos laboratórios que serviam de apoio aos sistemas de controle da qualidade da produção nas empresas. Consistia na distribuição de amostras homogêneas de fertilizantes aos laboratórios das empresas, que as analisavam com seus próprios métodos e remetiam os resultados à ANDA, para serem estatisticamente avaliados. Com base nessa avaliação, os resultados eram discutidos em reuniões mensais. Inicialmente, os métodos eram os utilizados nas próprias empresas. Logo houve a necessidade de padronizar esses métodos para que todos os laboratórios pudessem empregá-los. Em seguida, passou-se a estudar os problemas analíticos e a introduzir novos métodos, o que vem ocorrendo até hoje. Atualmente, a distribuição de amostras e reuniões são bimestrais. Os laboratórios que mostram bom desempenho no ano, de acordo com critérios preestabelecidos, recebem o Certificado de Proficiência Anual.

Por volta de 1980, foi criado o Programa Colaborativo de Controle de Qualidade, com o objetivo de estudar, analisar e discutir os diferentes aspectos técnicos que envolvem o controle da qualidade da produção de fertilizantes.

Hoje, esses dois Programas constituem o Comitê de Qualidade da ANDA, que conta, atualmente, com a participação de cerca de 55 laboratórios das maiores e mais importantes empresas de fertilizantes do Brasil. Esse Comitê, além de proporcionar meios e facilidades para a avaliação do controle da qualidade nas empresas, tem proporcionado inestimáveis colaborações ao Ministério da Agricultura no sentido de oferecer critérios para aperfeiçoar a legislação e a fiscalização da produção e comercialização de fertilizantes no Brasil.

Plano Nacional de Fertilizantes e Calcário Agrícola - PNFCA

Embora algumas das grandes empresas de fertilizantes já operassem no Brasil no fim dos anos 40s e no início da década de 50, até o início dos anos 60s, a demanda brasileira de matérias-primas para a fabricação de fertilizantes era, essencialmente, atendida por importações. A produção local restringia-se à exploração de uma mina de fosfato na década de 40, no Estado de São Paulo, a poucas unidades de amônia, ácido nítrico, nitrato de amônio e nitrocálcio e a alguns produtores de superfosfato simples.

Na segunda metade da década de 60, surgiram novas unidades de superfosfato simples e o primeiro complexo industrial de fertilizantes, pertencente à Ultrafertil, o que marcou o início da produção de ácido fosfórico no País. Essa empresa também instalou a primeira unidade de porte para a fabricação de amônia anidra, além da produção de ácidos nítrico e sulfúrico, nitrato de amônio e de fosfato diamônico. Outros projetos entraram em operação nos anos 70s.

Entretanto, a partir de 1971, a demanda de fertilizantes sofreu considerável impulso, principalmente em decorrência do início do desenvolvimento da agricultura na região dos Cerrados, no Brasil Central, sendo limitada, contudo, pela necessidade de importações adicionais a custos crescentes. Essa pressão de demanda, associada aos altos preços no mercado internacional, como consequência dos conflitos no Oriente Médio, além de outros fatores, resultou, em 1974, na formulação do Plano Nacional de Fertilizantes e Calcário Agrícola (PNFCA), cujo objetivo principal era a ampliação e a modernização da indústria brasileira de fertilizantes e calcário agrícola. Esse programa, um marco no desenvolvimento da indústria nacional de fertilizantes, estimulou a instalação de vários complexos industriais destinados à produção interna de matérias-primas e fertilizantes, com investimentos superiores a dois bilhões de US\$.

Como resultado, a produção nacional de rocha fosfática, que, em 1974, representava apenas 20 % do consumo, evoluiu para uma condição de auto-suficiência em 1983. Em 1974, foram importados 32 % das necessidades de amônia e, em 1980, esta participação aumentou para 35 %, embora o consumo tivesse crescido quase 2,5 vezes. A mesma evolução pode ser observada para o ácido fosfórico, pois, em 1974, foram importados 46 % do consumo e, em 1985, apenas 3 %.

Quando se analisa o segmento produtor de fertilizantes simples, verifica-se que as importações de nitrogenados, que, em 1974, representavam 60 % do consumo, em 1986, situaram-se em 28 % e foram constituídas quase que integralmente de sulfato de amônio. Idêntica evolução pôde ser constatada para os fosfatados. Em 1974, importavam-se quase 60 % das necessidades e, em 1987, já existia uma capacidade de produção superior ao consumo, acarretando a ociosidade deste segmento.

Essa fase de quase auto-suficiência infelizmente não foi muito duradoura. Atualmente, diante do aumento da demanda e do não proporcional aumento da capacidade instalada de produção, a produção nacional equivale a 40 % do N, 50 % de P e 10 % do K.

Gesso Agrícola - Uma Descoberta Casual

Um dos fatores mais limitantes à produção agrícola na região dos Cerrados é a alta probabilidade da ocorrência de veranicos durante a estação das chuvas, associada à baixa capacidade de retenção de umidade e ao limitado crescimento do sistema radicular de várias culturas imposto pela deficiência de Ca e toxidez causada pelo Al no subsolo.

A descoberta do efeito do gesso em subsolos, promovendo crescimento radicular com aproveitamento da água em camadas mais profundas de solos durante veranicos, criou a expectativa de se poder melhorar os solos ao longo do perfil, para estimular o maior crescimento radicular. O gesso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), sal neutro, solúvel em água ($2,5 \text{ g L}^{-1}$), é lixiviado ao subsolo onde reduz o efeito tóxico que o Al tem sobre as raízes, além de eliminar a deficiência de Ca, que também impede o crescimento radicular.

Entretanto, o que poucos sabem é que o início dos estudos desses efeitos do gesso agrícola surgiu mais ou menos por acaso. No início da década de 70, um agricultor do Paraná, Sr. Luiz Souza Lima, adquiriu uma propriedade no Distrito Federal, ao lado do PADEF - Programa de Assentamento Dirigido do Distrito Federal, que foi o segundo grande assentamento agrícola na região dos Cerrados. Por tradição trazida do Sul, esse agricultor utilizava, como fonte de P, o superfosfato simples, enquanto os agricultores do PADEF, a maioria formada por japoneses, utilizavam, como fonte desse nutriente, o termofosfato e o superfosfato triplo. Depois de uns 10-12 anos explorando a área, houve um veranico de mais de vinte dias de duração fazendo com que o milho e a soja dos agricultores do PADEF apresentassem severos sintomas de estresse hídrico e as mesmas culturas na propriedade do Sr. Souza Lima mantivessem um crescimento e desenvolvimento normais, sem demonstrar estresse hídrico.

O fato chamou a atenção de pesquisadores do CPAC (Centro de Pesquisas Agropecuárias dos Cerrados - Embrapa), que abriram trincheiras nas duas propriedades e observaram que o sistema radicular das culturas na área do PADEF alcançavam 60 cm de profundidade e que, na propriedade ao lado, as raízes das mesmas culturas estavam a 120 cm de profundidade. O solo era praticamente o mesmo e o único fator de manejo diferente era a fonte de P, como já mencionado. Começou-se então a especular que o maior aprofundamento do sistema radicular na propriedade do Sr. Souza Lima seria, possivelmente, resultante do efeito do uso contínuo, durante 10 a 12 anos, do superfosfato simples, que, como se sabe, apresenta, por tonelada, cerca de 480 kg de gesso, e que esse componente teria minimizado os efeitos do baixo teor de Ca e elevado teor de Al trocáveis no subsolo, permitindo maior aprofundamento do sistema radicular.

O que se seguiu a essa observação foi uma verdadeira explosão de trabalhos de pesquisa que visavam estudar os mais diferentes aspectos quanto aos efeitos do gesso agrícola no aprofundamento do sistema radicular. Esses trabalhos envolveram estudos

em laboratório procurando analisar melhor a química do gesso no solo; em casa de vegetação, procurando estabelecer níveis críticos de Ca trocável e de toxidez de Al que seriam limitantes ao crescimento radicular; em colunas de solos com estrutura deformada e natural, aplicando chuvas artificiais para acompanhar o movimento de Ca para o subsolo; experimentos em campo envolvendo combinações de doses de calcário e gesso para diferentes culturas e tipos de solo; e, finalmente, estabelecimento de critérios de diagnose para identificar solos com alta probabilidade de resposta ao gesso e a utilização de métodos de recomendação desse insumo.

Não seria exagero afirmar ser o Brasil é o país do mundo com o maior número de pesquisas envolvendo o gesso agrícola como melhorador das condições do subsolo para o desenvolvimento radicular, haja vista que dois simpósios, referentes ao assunto, foram realizados e os anais publicados (IBRAFOS, 1986, 2002), e um livro, publicado no Brasil em 1988 (Raij, 1988), está com a 2ª edição revisada e ampliada, no prelo. Como essas publicações não foram editadas em inglês, a comunidade científica internacional tem pouco conhecimento desses trabalhos.

Método de Extração de Nutrientes com Resina de Troca Iônica

No início da década de 80, no Estado de São Paulo, houve grande mudança nos métodos de análises de solos. Essas mudanças envolveram, principalmente, o método de extração com resina de troca iônica para P, Mg, K e Ca, a determinação do pH em CaCl_2 e o cálculo de calagem por meio da elevação da saturação por bases a valores preestabelecidos para diferentes culturas.

Os motivos dessas mudanças, principalmente em relação ao P disponível, foram basicamente os seguintes: (a) extratores ácidos como o Mehlich-1 e H_2SO_4 , usados até então na quase totalidade dos laboratórios no Brasil, dissolvem resíduos de fosfatos naturais aplicados ao solo, podendo fornecer altos teores nas análises, mesmo em condições de deficiência no solo; (b) esses extratores tendem a extrair teores muito baixos⁽²⁾ de P em solos argilosos que contêm teores suficientes de P disponível para as culturas, como nos Latossolos Roxos de baixa fertilidade, e (c) o método da resina dá melhor avaliação da biodisponibilidade de P em solos, conforme comparação de resultados de 70 trabalhos publicados em todo o mundo, com um coeficiente de determinação médio de 0,84 para solos ácidos, em comparação com um valor de 0,56 para o extrator Mehlich-1 (veja capítulo VIII).

Os trabalhos de pesquisa que permitiram a implementação desse método, em 1983, foram iniciados em 1973 sob a responsabilidade dos pesquisadores José Antonio Quaggio e Bernardo van Raij, do Instituto Agronômico de Campinas. Embora o método da resina de troca iônica seja considerado, mesmo internacionalmente, como bom extrator de P, ele é evidentemente um método mais complexo e, pela sua complexidade, é, muitas vezes, considerado inadequado para uso em análises de rotina.

⁽²⁾ Baixos em valores, mas não em relação aos níveis críticos para solos de boa fertilidade.

A técnica que permitiu a viabilização do método nas análises de rotina foi a solução de um difícil problema prático, que era separar a resina do solo após 16 h de agitação da suspensão em água. A desagregação da terra foi obtida por meio de bolas de vidro colocadas antes da adição da resina, o que permitiu a separação, por peneiramento, da resina do solo após a agitação de 16 h.

Além disso, para permitir a automação na execução desse método, foram desenvolvidos, vários equipamentos. A adoção desse método em 93 laboratórios no Brasil e até no exterior é um atestado da superação dos problemas técnicos iniciais e da adequação do seu uso nas análises de rotina para avaliação da fertilidade do solo.

Método de Saturação por Bases

Até o início dos anos 80s, os métodos de recomendação da calagem utilizados no Brasil se restringiam ao método SMP, nos Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, e ao do Al e Ca mais Mg trocáveis, utilizado em outros Estados.

O método da saturação por bases requer a determinação da soma de bases (SB), acidez potencial a pH 7,0 (H + Al) e, por cálculo, obtêm-se a capacidade de troca de cátions (CTC a pH 7,0) e a saturação por bases (V).

Esse método alternativo surgiu após o conceito de saturação por bases ser proposto como critério de calagem, pela primeira vez, no Brasil, no Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), segundo o trabalho de Catani & Gallo (1955), no qual a acidez potencial era extraída por uma solução de acetato de Ca 0,5 mol L⁻¹ a pH 7,0 e posterior titulação com solução de NaOH.

É interessante comentar que, nesse trabalho, a saturação por bases era estimada a partir da determinação do pH, por meio da equação de regressão entre pH em H₂O e V (pH = 4,28 + 0,31 V), em vez de ser determinada diretamente. Com esse procedimento, perdia-se a exatidão do método e a determinação de H + Al pela extração com acetato de Ca era muito laboriosa, tornando o método impraticável para laboratórios de rotina.

Foi a partir do trabalho de Quaggio (1983), que se desenvolveu um procedimento prático para estimar a acidez potencial do solo (H + Al), por meio da medida do pH de equilíbrio da suspensão solo-solução tampão SMP. Esse procedimento permite a determinação de H + Al em amostras de solo com até 30 cmol_c dm⁻³, com coeficiente de variação inferior a 6 %. O processo é prático e adequado aos laboratórios de rotina. Esse procedimento de determinação da acidez potencial tornou viável a introdução do método da saturação por bases como oficial para a recomendação de calagem no Estado de São Paulo, sendo hoje, também, utilizado em vários outros Estados da Federação.

Evolução das Análises de Micronutrientes nos Solos

A evolução da análise química de micronutrientes nos solos brasileiros pode ser dividida em três fases, de acordo com Lopes & Abreu (2000). A primeira, que é caracterizada pelos primeiros trabalhos abrangendo esse tipo de determinação, foi iniciada nos anos 40 em solos de São Paulo, envolvendo a determinação do Mn extraído por HCl 1 mol L⁻¹ ou HNO₃ 0,01 mol L⁻¹. Nesse período, houve inclusive uma tentativa de estabelecimento de cinco classes para interpretação dos resultados analíticos.

Na década de 50, com o início dos trabalhos de levantamentos de solos, também no Estado de São Paulo, outros micronutrientes, como o B e Cu, foram também determinados mediante o extrator HNO_3 0,01 mol L⁻¹, sem, entretanto, haver critérios de interpretação dos teores obtidos.

Como as soluções ácidas concentradas mostraram-se ineficientes em avaliar a disponibilidade de micronutrientes, iniciaram-se, então, estudos em solos paulistas e da região dos Cerrados, visando determinar os teores de B, Cu, Fe, Mn, Zn e Mo, usando diversas soluções extratoras, tais como ácidos diluídos, misturas de ácidos (Mehlich-1), soluções salinas tamponadas ou não e agentes quelantes. Uma limitação crítica dessa fase é que não se levou em consideração a extração de micronutrientes pelas plantas.

Na segunda fase, que compreendeu o final da década de 70 e até a de 80, os trabalhos de pesquisa enfocaram a seleção de extratores químicos para B, Cu, Fe, Mn e Zn, empregando, como critério básico, os valores de coeficientes de correlação obtidos entre os teores de micronutrientes no solo e as quantidades acumuladas nas plantas, sendo os estudos realizados, principalmente, em vasos e em casa de vegetação.

Nesse período, os métodos testados em solos das regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste do Brasil foram, principalmente, aqueles que se destacaram na região temperada, quais sejam: (a) água quente e cloreto de Ca para B; (b) o extrator Mehlich-1 e o DTPA a pH 7,3 para Cu, Mn e Zn; (c) o acetato de amônio, sobretudo para Mn, e (d) o Mehlich-1, DTPA e HCl para Fe. Para o Mo, as pesquisas nos Estados de São Paulo e Pernambuco tiveram como enfoque o levantamento dos teores (total e solúvel) utilizando diversas soluções como: oxalato de amônio, ácido sulfúrico, ácido fluorídrico e ácido oxálico. Entretanto, há ainda hoje sérias restrições ao uso da análise de solo para avaliar a disponibilidade de Mo em condições de rotina.

Um fato, entretanto, prejudicava, ainda, a credibilidade da análise de micronutrientes, durante esse período. Na prática, os diversos laboratórios do País que incluíam, na sua prestação de serviços, a análise de micronutrientes em solos, utilizavam uma diversidade de muito grande de extratores, sendo a opção por determinado extrator, muitas vezes, devida à sua facilidade de execução no laboratório, e não à sua eficiência analítica.

A terceira fase, iniciada nos anos 90s, foi marcada por uma vasta produção científica envolvendo micronutrientes, estimulada, em grande parte, pela ocorrência mais freqüente de deficiências e pelo esforço de algumas instituições de pesquisa em padronizar técnicas de extração e adaptar, em condições de análises de rotina, processos de extração de micronutrientes agronomicamente eficazes. Dezenas de experimentos de calibração foram realizados no campo, procurando estabelecer níveis críticos e faixas de interpretação das análises para vários micronutrientes, envolvendo culturas como soja, milho, sorgo, arroz, algodão, café e cana-de-açúcar, principalmente.

Como resultado desses mais de cinquenta anos de pesquisas envolvendo a análise de micronutrientes nos solos do Brasil, embora hoje ainda haja certa diversidade de métodos de análise, podem-se estabelecer, basicamente, três diferentes grupos de laboratórios em relação a extratores usados: (1) Rio Grande do Sul e Santa Catarina – Cu e Zn: HCl 0,1 mol L⁻¹; B: água quente; Mn: Mehlich-1; Fe: oxalato de amônio a pH 3,0. (2)

Sistema IAC – B: cloreto de bário; Cu, Zn, Mn e Fe: DTPA a pH 7,3. (3) Sistema Mehlich-1 – Zn, Cu, Mn e Fe: Mehlich-1; B: água quente.

Para mais detalhes sobre micronutrientes consultar capítulo XI.

Fixação Biológica de Nitrogênio

O desenvolvimento do conhecimento sobre fixação biológica de N_2 (FBN), no Brasil, ocorreu notadamente nas plantas leguminosas, sendo a FBN, um dos fatos mais marcantes na dinâmica de N no sistema solo-planta-atmosfera. Embora seja um assunto intimamente ligado à Microbiologia do Solo, sua importância e a inter-relação com a Fertilidade do Solo no Brasil justificam um tópico neste histórico.

No Instituto Agronômico de Campinas (IAC), instituição com mais de 100 anos de existência, foram iniciados os estudos sobre Microbiologia do Solo no Brasil, envolvendo as áreas de decomposição de resíduos, fixação biológica do N (FBN) e testes microbiológicos de fertilidade do solo. Os primeiros trabalhos sobre avaliação da quantidade de N fixado por leguminosas e sobre a inoculação, realizados no IAC, são do final do século dezenove e início do século vinte. Na década de 30, foi produzida grande quantidade de inoculante para alfafa e, no seu final, quando já se dispunha de algumas variedades de soja selecionadas no Estado de São Paulo, a importância do cultivo dessa leguminosa e da inoculação eram enfatizados. Nesse período, o Serviço da Indústria Animal do Estado de São Paulo também produziu inoculantes e conduziu testes com inoculantes para soja com resultados positivos.

A filosofia do uso da FBN como forma exclusiva de adição de N para nutrição da soja foi consolidada a partir da década de 50 e, desde então, vem fundamentando os programas de melhoramento de leguminosas do IAC. Para assegurar a adoção da técnica da inoculação da soja, o IAC produzia inoculante que era distribuído pelos Postos de Sementes e comercializado nas Casas da Lavoura, com recomendação e instruções para uso, integrando três órgãos da Secretaria da Agricultura do Estado. Esse sistema funcionou até o surgimento de empresas privadas que se interessaram pela produção de inoculante.

Também no início da década de 50, outros dois importantes núcleos de Microbiologia do Solo foram criados no Brasil: o IPAGRO, no Rio Grande do Sul, e outro, no km 47 da Antiga Estrada Rio-São Paulo, no Estado do Rio de Janeiro, hoje Embrapa- Agrobiologia, em Seropédica, RJ.

A contribuição prática da FBN pode ser mensurada pelos números decorrentes do uso de inoculantes de rizóbio em diversas culturas, substituindo total ou parcialmente os fertilizantes nitrogenados e propiciando uma economia significativa nos custos de produção (Quadro 1).

No Brasil, o melhor exemplo é a soja. A área plantada com essa cultura foi de 21,4 milhões de hectares (englobando as cinco regiões do Brasil) em 2003, resultando na segunda maior produção entre as lavouras anuais em 2004: 49,8 milhões de toneladas de grãos com produtividade média de $2,3 \text{ t ha}^{-1}$. Considerando que os grãos apresentam 87 % de matéria seca, obtiveram-se 43,3 milhões de toneladas de grãos secos com 6 % de N, que constituíram 2,6 milhões de toneladas de N exportadas da lavoura. Como o N

Quadro 1. Exemplos de leguminosas nodulíferas com respectivas taxas de fixação biológica de N₂

Leguminosa	N
	kg ha ⁻¹ ano ⁻¹
Alfafa (<i>Medicago sativa</i>)	127-333
Amendoim (<i>Arachis hypogaea</i>)	33-297
Calopogônio (<i>Calopogonium mucunoides</i>)	64-450
Caupi (<i>Vigna unguiculata</i> sin. <i>Vigna senensis</i>)	73-240
Centrosema (<i>Centrosema pubescens</i>)	93-398
Crotalária (<i>Crotalaria juncea</i> L.)	146-221
Clitória (<i>Clitoria ternatea</i>)	197-249
Cudzu tropical (<i>Pueraria phaseoloides</i>)	100
Desmódio (<i>Desmodium</i> sp)	24-380
Ervilha (<i>Pisum sativum</i>)	17-244
Ervilhaca comum (<i>Vicia sativa</i>)	90
Ervilhaca-peluda (<i>Vicia villosa</i>)	110-184
Estilosantes (<i>Stylosanthes</i> sp.)	20-263
Fava (<i>Vicia fava</i>)	53-330
Feijão (<i>Phaseolus vulgaris</i>)	4-165
Feijão-de-porco (<i>Vicia</i> sp. e <i>Canavalia ensiformis</i>)	57-190
Galácia (<i>Galactia striata</i>)	181
Gliricídia (<i>Gliricidia sepium</i>)	86-309
Grão-de-bico (<i>Cicer arietinum</i>)	41-270
Guandu (<i>Cajanus cajan</i>)	7-235
Guar (<i>Cyamopsis psoraloides</i>)	37-196
Lentilha (<i>Lens culinaris</i>)	35-192
Lespedeza (<i>Lespedeza stipulacea</i>)	193
Leucena (<i>Leucaena leucocephala</i>)	400-900
Mucuna-preta (<i>Stizolobium aterrimum</i>)	157
Neonotonia wightii Lacrey (sin <i>Glycine wightii</i> Verdc.)	160-450
<i>Prosopis glandulosa</i>	2-61
<i>Sebania cannabina</i>	126-188
<i>S. rostrata</i>	324
<i>S. sesban</i>	7-18
Siratiro (<i>Macroptilium atropurpureum</i>)	70-181
Soja (<i>Glycine Max</i>)	17-450
<i>T. hybridum</i>	21
<i>T. indica</i>	64
Tremoço (<i>Lupinus</i> sp.)	32-288
Trevo-branco (<i>Trifolium repens</i>)	128-291
Trevo-doce (<i>Melilotus alba</i>)	9-140
Trevo-egípcio (<i>Trifolium alexandrinum</i>)	62-235
Trevo-vermelho (<i>Trifolium pratense</i>)	17-373
Trevo subterrâneo (<i>Trifolium subterraneum</i>)	21-207
Trigonela (<i>Trigonela fanum-gracum</i>)	44
<i>Vigna</i> sp.	63-345
<i>Zornia glabra</i>	9-201

Fonte: Moreira & Siqueira (2006) citando Calegari et al. (1993); Hardarson (1993); Peoples et al. (1995).

nos grãos representa, em média, 80 % do N total da planta, o conteúdo total de N na planta foi de 3,2 milhões de toneladas. A contribuição da FBN em soja, calculada por técnicas isotópicas, é relatada como sendo de, no mínimo, 70 %. Desse modo, foram fixados pelo menos 2,3 milhões de toneladas de N pela cultura. Se essa quantidade de N tivesse de ser fornecida por fertilizantes nitrogenados, teríamos de considerar uma eficiência média de 60 %, sendo então necessários 3,8 milhões toneladas de N-fertilizante. Como a uréia contém 46 % de N, o total deste fertilizante nitrogenado requerido seria de 8,2 milhões toneladas, que, ao preço de 170 US\$ t⁻¹ (F & P, frete e porto-outubro de 2003), custariam, aproximadamente, 1,4 bilhão de dólares (Moreira & Siqueira, 2006).

Dois nomes brasileiros poderiam ser citados no que se refere ao reconhecimento de suas contribuições para o desenvolvimento da Microbiologia do Solo no Brasil: o Dr. J.R. Jardim Freire e a Dra. Johanna Döbereiner. O Dr. Jardim Freire, pela valiosa contribuição na formação de vários pesquisadores e professores que trabalham na área, pela instalação da indústria de inoculantes no Brasil e pela coordenação do Centro de Recursos Microbiológicos para a América Latina-MIRCEN. A Dra. Döbereiner, pela sua importante contribuição para o conhecimento da interação de microrganismos diazotróficos na rizosfera de gramíneas, com estudos iniciados na década de 50, que tiveram repercussão internacional e consolidou sua liderança mundial nesse assunto, além de sua contribuição na formação de vários pesquisadores da Embrapa e de outras instituições do Brasil de outros países latino-americanos.

MANEJO DA FERTILIDADE DO SOLO NO CONTEXTO ATUAL E FUTURO DA AGRICULTURA BRASILEIRA

Causas da Baixa Fertilidade dos Solos

Importância do Solo nos Ecossistemas

O solo, o meio principal para o crescimento das plantas, é uma camada de material biologicamente ativo, resultante de transformações complexas que envolvem o intemperismo de rochas e minerais, a ciclagem de nutrientes e a produção e decomposição de biomassa. Uma boa condição de funcionamento do solo é fundamental para garantir a capacidade produtiva dos agroecossistemas. Uma boa qualidade do solo é importante também para a preservação de outros serviços ambientais essenciais, incluindo o fluxo e a qualidade da água, a biodiversidade e o equilíbrio de gases atmosféricos.

A presença de nutrientes é um dos aspectos fundamentais que garantem a boa qualidade dos solos e o seu bom uso e manejo, principalmente no caso de agroecossistemas. Em ecossistemas nativos, a ciclagem natural de nutrientes é a grande responsável pela manutenção do bom funcionamento do solo e do ecossistema como um todo. Essa ciclagem é fundamental para manter o estoque de nutrientes nos ecossistemas naturais, evitando a perda da fertilidade natural do solo. O relatório do biênio 2000-2001 do World Resources Institute revela que os agroecossistemas cobrem mais de um quarto da área global da terra e que quase três quartos desses agroecossistemas

apresentam baixa fertilidade do solo o que, aliado a condições de relevo íngreme, pode afetar sobremaneira a produção agrícola (WRI, 2000).

Mas, o que vem a ser um solo fértil? Todo solo fértil é necessariamente produtivo? Quais são as causas da baixa fertilidade dos solos?

Solo Fértil e Solo Produtivo

As duas primeiras perguntas podem ser respondidas por meio de uma das definições do que venha a ser um solo produtivo, a qual é a seguinte: solo produtivo é um solo fértil, ou seja, que contém os nutrientes essenciais em quantidades adequadas e balanceadas para o normal crescimento e desenvolvimento das plantas cultivadas e que apresenta ainda boas características físicas e biológicas, está livre de elementos tóxicos e encontra-se em local com fatores climáticos favoráveis (veja capítulo II).

Nota-se, pois, que um solo pode ser fértil sem necessariamente ser produtivo. Nota-se ainda que a fertilidade do solo pode advir de causas naturais ou ser criada pela adição de nutrientes aos solos durante o cultivo.

Um ponto importante a ser considerado com relação à fertilidade do solo e que tenta responder à última das três perguntas anteriores é que muitos solos não são naturalmente férteis e que mesmo aqueles férteis podem, sob manejo inadequado, transformar-se em solos de baixa fertilidade. Depreende-se, diante disso, que as causas da baixa fertilidade dos solos podem ser tanto naturais quanto antrópicas (decorrentes do manejo inadequado do solo pelo homem).

Um estudo do World Resources Institute (Wood et al., 2001) mostra que, dentre os aspectos adversos ligados à baixa fertilidade dos solos no mundo, a alta acidez (freqüentemente associada à toxidez por Al) e as baixas reservas de K merecem destaque (Quadro 2). No caso específico das regiões tropical e subtropical subúmida e úmida, além desses aspectos, também a alta capacidade de fixação de P é um importante fator determinante da baixa fertilidade dos solos (veja capítulo VIII). Um trabalho encomendado pela FAO em 2000 (Bot et al., 2000) revela que a toxidez causada por Al afeta cerca de 63 % de toda a área de solos do Brasil e que 25 % do território brasileiro apresenta solos com elevada capacidade de fixação de P.

Baixa Fertilidade: Natural ou Não?

Conforme já enfatizado, a baixa fertilidade dos solos pode ter tanto causas naturais quanto antrópicas. Como causas naturais, destacam-se que a gênese do solo e o intemperismo como principais fatores causadores da baixa fertilidade, particularmente em grande parte das regiões tropicais e subtropicais, onde a remoção de nutrientes do solo é mais acelerada, em razão das condições de altas temperaturas e precipitações pluviais. O fato de o Brasil possuir grandes extensões de terra com problemas de fertilidade relacionados com a alta acidez e toxidez por Al, além de alta capacidade de fixação de P, é, em grande parte, consequência de sua localização na região tropical.

Além das causas naturais, também aquelas antrópicas – provocadas pelo manejo inadequado do solo – podem ser causadoras da baixa fertilidade dos solos. Uma dessas

Quadro 2. Áreas agrícolas (valores relativos) afetadas por adversidades em diferentes regiões agroclimáticas do mundo

Característica	Região agroclimática							Total
	Trópico árido e semiárido	Trópico subúmido e úmido	Subtrópico árido e semiárido	Subtrópico subúmido e úmido	Temperado árido e semiárido	Temperado subúmido e úmido	Boreal	
	----- % -----							
Percentual da área total	14,4	23,5	9,4	13,8	20,1	18,0	0,8	100
Livre de adversidades	8,4	5,5	24,1	14,6	25,5	23,1	31,6	16,2
Drenagem pobre	7,9	13,1	5,6	14,7	13,1	24,3	33,9	14,0
Baixa capacidade de troca de cátions	11,8	8,9	3,2	0,2	0,1	0,6	0	4,2
Toxidez de Al	7,2	41,5	1,1	25,3	1,1	14,3	13,9	17,2
Acidez	29,6	25,5	13,6	25,2	9,6	39,5	38,4	24,6
Alta capacidade de fixação de P	1,2	13,0	0	14,3	0	0,3	0	5,2
Aspecto vértico	16,5	2,9	4,3	5,3	0,1	0,5	0	4,3
Baixa reserva de K	11,9	52,0	1,3	25,6	0,1	5,7	0	18,6
Alcalino	4,1	1,0	25,3	3,8	23,9	6,7	0	9,5
Salinidade	2,6	0,6	11,8	0,9	5,5	0,9	0	3,0
Aspecto nátrico	3,9	0,9	7,6	3,3	14,9	1,3	0	5,1
Raso ou pedregoso	13,3	7,1	15,6	14,3	9,8	5,1	9,2	10,0
Baixa capacidade de retenção de umidade	20,8	12,8	13,9	4,5	5,0	13,4	6,9	11,3

Fonte: Adaptado de Wood et al. (2000).

causas antrópicas é a exaustão de nutrientes do solo provocada pelas retiradas pelas culturas, maiores que pelas adições via adubação. Estimativas diversas neste sentido revelam que o déficit anual médio de nutrientes no Brasil encontra-se entre 25 e 35 kg ha⁻¹ de N + P₂O₅ + K₂O, ou seja, o estoque de nutrientes do solo está sendo esgotado ano após ano. Isso pode levar até mesmo solos anteriormente considerados férteis a tornarem-se não-férteis, tendo, assim, sua capacidade produtiva prejudicada. Levantamento do International Soil Reference and Information Centre (ISRIC), atualmente World Soil Information, estimou que cerca de 240 milhões de hectares de solos no mundo (área equivalente à região dos Cerrados brasileiros) estão comprometidos no que diz respeito à sua integridade química, o que está ligado, dentre outros fatores, à deficiência de nutrientes, a qual representa a maior causa de degradação química dos solos no mundo, atingindo cerca de 136 milhões de hectares (dos quais 68 milhões de hectares localizam-se na América do Sul) (Oldeman et al., 1991).

Um ponto importante a considerar quando se trata de baixa fertilidade provocada por causas naturais ou até mesmo por exaustão do solo é que estas duas primeiras causas podem ser corrigidas facilmente, mediante reposição de nutrientes via adubação mineral e orgânica, bastando, para isso, que o agricultor faça uso da análise de solo e de

planta (foliar ou do produto colhido) para diagnosticar possíveis problemas ligados à fertilidade do seu solo.

Um problema maior ligado às causas não-naturais de queda da fertilidade do solo está relacionado com a erosão. A erosão é a maior causa de degradação de solos no mundo, que tem conseqüências, às vezes permanentes, sobre a fertilidade dos solos. Neste sentido, vale lembrar que a exaustão de nutrientes dos solos também é causa de erosão, visto que reduz a cobertura vegetal e, com isso, a resistência do solo à erosão. A erosão atinge cerca de 13 % da superfície do planeta, segundo estudos do World Soil Information, afetando cerca de 1,65 bilhão de hectares de terra que se encontram degradados em todo o mundo (Oldeman, 2000). O pior aspecto da queda de fertilidade do solo causada pela erosão é que, ao contrário da exaustão causada por extração de nutrientes em taxa maior que a reposição ou da baixa fertilidade por causas naturais, as quais podem ser recuperadas de maneira simples, a erosão resulta, algumas vezes, em degradação de difícil recuperação ou até mesmo em dano irreparável à capacidade produtiva do solo.

Preservar a Matéria Orgânica do Solo é Fundamental

Um dos piores aspectos da erosão e que afeta grandemente a fertilidade dos solos é a perda da matéria orgânica do solo (MOS). Também práticas de manejo inadequadas, como, por exemplo, a adoção do cultivo intensivo, em vez do cultivo mínimo ou do plantio direto, podem levar à queda rápida do teor de MOS. Isto é particularmente relevante em solos altamente intemperizados, localizados na região tropical, como é o caso de extensas áreas do Brasil. A MOS pode ser considerada o indicador mais simples e entre os mais importantes para se medir a qualidade do solo e, conseqüentemente, dos agroecossistemas. Alguns efeitos benéficos que a MOS proporciona são:

1. Estabiliza e agrega partículas de solo, reduzindo a erosão;
2. Provê uma fonte de C e energia para os microrganismos do solo;
3. Melhora o armazenamento e o fluxo de água e de ar no solo;
4. Armazena e provê nutrientes como N, P e S;
5. Mantém o solo menos compactado e mais fácil de trabalhar;
6. Retém C da atmosfera e de outras fontes;
7. Retém nutrientes como Ca, Mg e K, pois aumenta a CTC do solo; e
8. Serve para reduzir possíveis efeitos ambientais negativos decorrentes de uso inadequado de pesticidas ou de disposição de poluentes no solo.

Por fim, é sempre bom lembrar que o solo é o compartimento ambiental primário que suporta a agricultura e, conseqüentemente, a sobrevivência do ser humano na face da terra. Manter e aumentar o teor de MOS são condições primordiais para evitar a diminuição da fertilidade dos solos e para garantir sua qualidade e seu funcionamento em agroecossistemas produtivos (veja capítulo VI).

Produtividade Agrícola Brasileira, Fertilidade do Solo e Uso Eficiente de Corretivos e Fertilizantes

Impacto do Manejo da Fertilidade do Solo e do Uso Eficiente de Corretivos e Fertilizantes nas Lavouras

O investimento em técnicas para a melhoria da qualidade dos solos no Brasil pode ser mais bem avaliado quando se olham seus números. O manejo da fertilidade do solo por meio do uso eficiente de corretivos e fertilizantes é responsável, dentre os diversos fatores de produção, por cerca de 50 % dos aumentos de produção e produtividade das culturas. Os dados da figura 4 traçam um paralelo entre a evolução do consumo de fertilizantes, em termos de $N + P_2O_5 + K_2O$, e a evolução da produção de 16 culturas (matéria seca) no Brasil, de 1970/71 a 2002/03. O que fica evidente é a relação estreita entre essas duas variáveis.

Apenas no período de 1977/78 a 1980/81 e em anos mais recentes, a partir de 1997, o aumento do consumo de fertilizantes não correspondeu, na mesma intensidade, a um aumento na produção dessas 16 culturas. Dois fatores podem explicar esse comportamento: (a) O período de 1977/78 a 1980/81 foi o de intensificação de abertura dos solos de Cerrado no Brasil, os quais, normalmente, levam quatro a cinco anos para serem corrigidos, antes de passarem a responder com adequada produtividade. Foi também o período em que ocorreu o corte de subsídios à agricultura, havendo grandes estoques acumulados nas propriedades rurais em face de possíveis cortes desses subsídios, o que veio a ocorrer no início dos anos 80, (b) A partir de 1997, esse comportamento pode ser explicado pela constatação de uma necessidade maior de adubos para a recuperação de áreas marginais do Cerrado, principalmente de solos mais arenosos, os quais têm baixa fertilidade natural mas bom potencial produtivo. Também foi observado um incremento maior no uso de fertilizantes minerais na adubação da cana-

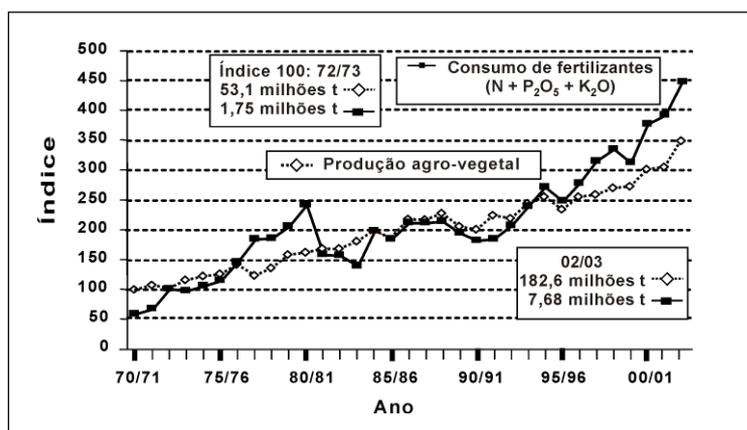


Figura 4. Evolução da produção agrovegetal (toneladas de matéria seca) das 16 principais culturas no Brasil em comparação com o consumo de fertilizantes minerais ($N + P_2O_5 + K_2O$) no período de 1970-71 a 2002-03.

Fonte: ANDA (2003); IBGE (2005).

de-açúcar, em substituição ao vinhoto, cuja disponibilidade vinha se reduzindo em decorrência de novas técnicas na destilação do álcool.

Para entender melhor o comportamento do consumo de fertilizantes no Brasil, compare-se o consumo médio de nutrientes em alguns países em 1990/91 (Figura 5). Nesse ano safra, o consumo no Brasil foi de 52 kg ha⁻¹ de N + P₂O₅ + K₂O. Esse consumo repetiu o de 1987/88 e, na verdade, a série histórica anual anterior se manteve nesse patamar por muitos anos.

O ponto que deve ser enfatizado é que esse consumo médio anual de nutrientes era considerado muito baixo, diante da baixa fertilidade natural da maioria dos solos brasileiros. Por outro lado, estimativas de um consumo adequado, em 1990/91, dada a exportação média de nutrientes pelas principais culturas, eram de cerca de 120 kg ha⁻¹.

Dois outros aspectos relevantes sobre o consumo de fertilizantes no Brasil em relação ao de outros países (Figura 5). Um deles trata do aumento do consumo de nutrientes por hectare na China, que saltou de 224 kg ha⁻¹, em 1987/88, para 295 kg ha⁻¹, em 1990/91. Esse aumento, de 71 kg ha⁻¹, foi maior do que a média histórica de consumo no Brasil, de 52 kg ha⁻¹. Tal fato teve profundas implicações com o aumento da produção e da produtividade na China em comparação com o Brasil. Apenas no caso da soja, a produtividade brasileira mostrou-se superior à da China (Figura 6).

Por outro lado, o consumo na Holanda, que era de 741 kg ha⁻¹, em 1987/88, caiu para 602 kg ha⁻¹, em 1990/91, e para 545 kg ha⁻¹, em 1998. Essa queda de consumo de fertilizantes na Holanda se justifica. Com grande parte de solos arenosos e lençol freático elevado, as altas taxas anuais de aplicação de fertilizantes minerais, aliadas à grande utilização de esterco animal, levaram a Holanda a ter sérias restrições ambientais e ao estabelecimento de limites máximos desses insumos utilizados na agricultura.

Em 1998, o Brasil aumentou o seu consumo médio para 110 kg ha⁻¹, em 2002 para 138 kg ha⁻¹ de nutrientes e, em 2004, atingiu 154 kg ha⁻¹ (Figura 7), o que, sem dúvida, foi um dos fatores mais importantes para os recentes aumentos na produção de grãos.

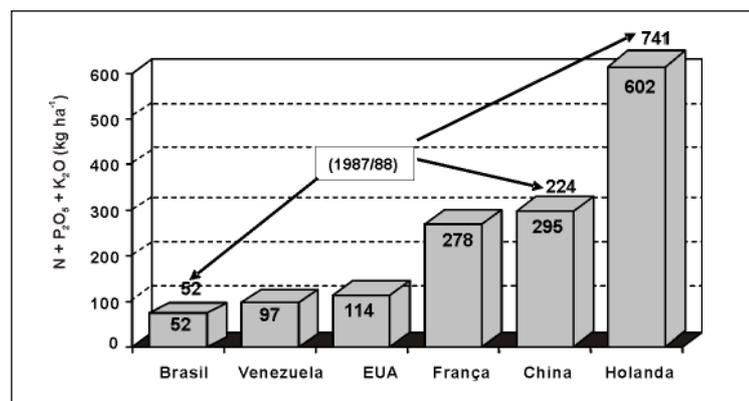


Figura 5. Consumo de fertilizantes (N + P₂O₅ + K₂O) no Brasil em comparação com o de outros países em 1991. Números acima das colunas referem-se ao consumo de quatro anos antes.
Fonte: IFA (2005).

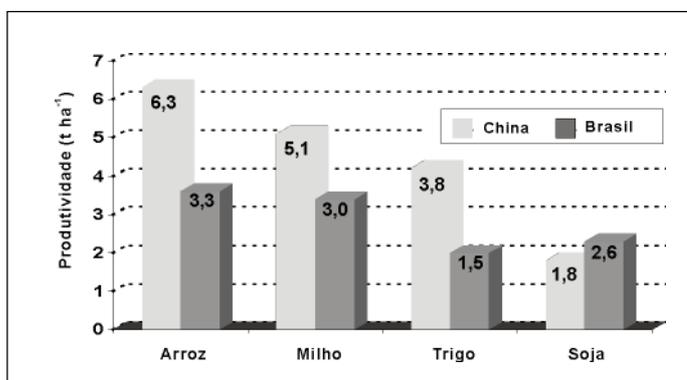


Figura 6. Produtividade média da China e do Brasil para várias culturas em 2004. Nesse ano, a produção total desses grãos foi de 455 milhões t para a China e de 113 milhões t para o Brasil.

Fonte: ANDA (2005); FAO (2005).

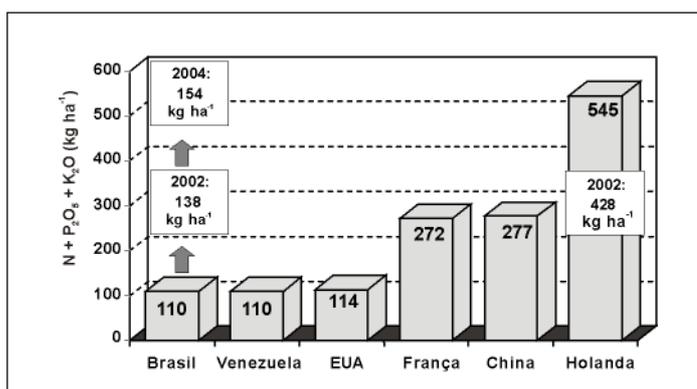


Figura 7. Consumo de fertilizantes ($N + P_2O_5 + K_2O$) no Brasil em comparação com o de outros países em 1998, com a Holanda em 2002 e no Brasil em 2002 e 2004.

Fonte: IFA (2005); ANDA (2003, 2005).

O aumento no consumo, bem como o uso mais eficiente de fertilizantes minerais, ocorrido no Brasil e mantido nos últimos anos, é, certamente, um componente importante no aumento da produção e da produtividade da maioria das culturas, principalmente aquelas consideradas de exportação. Essa foi uma tendência também para outros países (Figura 8), tendo sido o Brasil o único, em comparação com a China, a Índia e os países em desenvolvimento, que, no período considerado (1984–1994), apresentou aumento médio da produção de grãos significativamente superior ao aumento médio no consumo de fertilizantes. Esse fato é uma prova inquestionável de aumento da eficiência do uso de fertilizantes, nesse período, no País.

Há outro ponto a destacar quando se distingue o consumo de fertilizantes por grupos de culturas. As chamadas culturas de exportação, como citros, soja, cana e café, e que apresentam, em geral, mais altas produtividades, consomem muito mais fertilizantes que os produtos da cesta básica (mandioca, feijão, arroz e milho), que utilizam, com

menor intensidade, as técnicas disponíveis, incluindo doses de fertilizantes muito aquém das recomendadas pela pesquisa para que sejam alcançadas maiores produtividades (Figura 9).

Dentre os três macronutrientes primários, N, P e K, a utilização de doses muito aquém das adequadas é muito mais crítica para o N. Os dados da figura 10 mostram a evolução no Brasil da relação de consumo de $N/P_2O_5/K_2O$, nas décadas de 50 e 60, e de 1970 até 2004. Em 1970, essa relação era de 0,67/1,0/0,8 e, em 1976, atingiu 0,37/1,0/0,52.

Esse aumento relativo no consumo de P_2O_5 em relação ao N, em 1976, foi resultado da explosão da ocupação dos solos da região dos Cerrados, via incentivos governamentais. Como esses solos são extremamente deficientes em P, esse aumento era plenamente justificável.

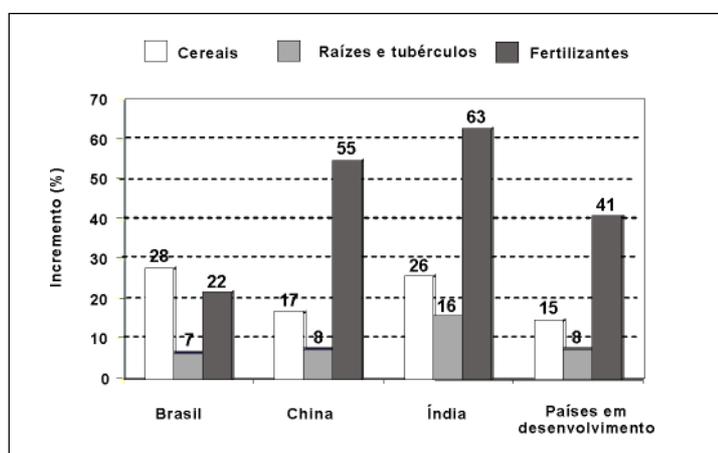


Figura 8. Incremento no consumo de fertilizantes e na produtividade de cereais e raízes e tubérculos no Brasil, China, Índia e países em desenvolvimento no período de 1984 a 1994.

Fonte: WRI (2005).

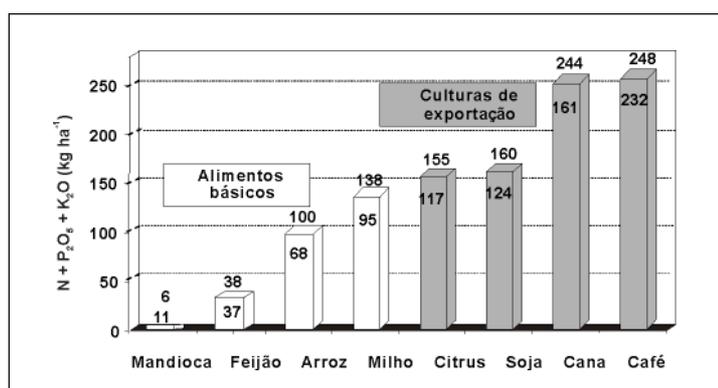


Figura 9. Consumo de fertilizantes ($N + P_2O_5 + K_2O$) para várias culturas no Brasil em 2000 (números dentro das colunas) e 2004 (números acima das colunas).

Fonte: ANDA (2001, 2005).

De 1976 até mais recentemente, essa relação voltou a se estreitar, atingindo, em 2003, 0,65/1,00/1,12, para todo o N/P₂O₅/K₂O consumido na agricultura brasileira, inclusive na cultura de soja (Figura 11). Se for excluída a soja desses cálculos, pelo fato de tal cultura praticamente não consumir N dos fertilizantes, a relação ficaria em 1,19/1,00/1,23. Se comparada essa relação com a de países que apresentam agricultura tecnificada para obtenção de altas produtividades, qual seja, de 2,82/1,00/1,10, pode-se concluir que a subutilização de N é um dos fatores mais limitantes para o aumento da produtividade de muitas culturas do Brasil. Essa relação de consumo para o ano de 2002, no Brasil, foi de 0,64/1,00/1,09, considerando-se o consumo da cultura da soja, ou de 1,15/1,00/1,17, sem considerar a soja.

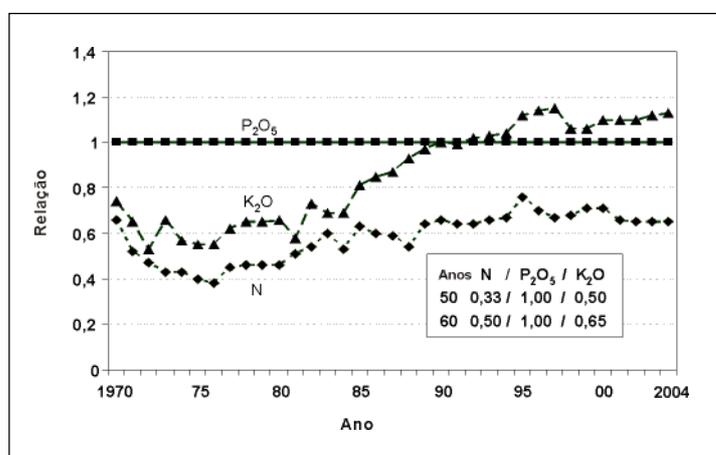


Figura 10. Relações de consumo de fertilizantes (kg ha⁻¹ de N/P₂O₅/K₂O) no Brasil nas décadas de 50 e 60 e evolução de 1970 a 2004.

Fonte: Lopes et al. (2003).

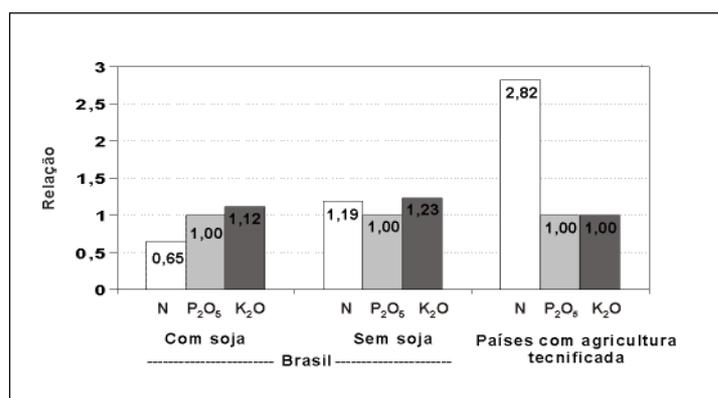


Figura 11. Relações de consumo de fertilizantes (kg ha⁻¹ de N / P₂O₅ / K₂O) no Brasil (total e sem soja) em 2003 em comparação com países de agricultura tecnificada em 2002.

Fonte: ANDA (2003, 2004).

O baixo consumo de N pode ser confirmado por um estudo de Yamada & Lopes (1999). Assumindo uma eficiência média de 60 % para o N, 30 % para o P e 70 % para o K e a exportação (remoção dos nutrientes pela produção) estimada para as 16 principais culturas, chegou-se ao seguinte déficit anual estimado de nutrientes, tomando como base dados médios do período 1993–1996: (a) 888 mil toneladas de N, mesmo considerando todo o N da soja e do feijão como provenientes da fixação biológica; (b) 414 mil toneladas de P_2O_5 , e (c) 413 mil toneladas de K_2O . Atualização desses dados para o ano de 2002 indica que esse déficit manteve-se em relação a N, aumentou para o P e reduziu para K, atingindo, respectivamente, 859, 514 e 324 mil toneladas (FAO, 2004).

Esses dados não significam que se está consumindo a quantidade adequada de P e de K, mas que, dentre os três macronutrientes, o subconsumo é muito mais crítico em relação ao N. Esses dados mostram que o déficit total de nutrientes corresponde a cerca de 30 % do consumo atual no País, representando um déficit por área da ordem de 25 a 30 $kg\ ha^{-1}$ de nutrientes. Eles revelam, ainda, que, na média, o processo produtivo da agricultura, nas taxas atuais de consumo de fertilizantes, está, em realidade, minando o recurso solo. Isso pode, no longo prazo, levar a conseqüências altamente danosas para a sustentabilidade da nossa agricultura.

Outro fator que pode justificar a baixa produtividade média de grande número de culturas no Brasil é a utilização de doses insuficientes de calcário, apesar das respostas espetaculares em relação aos aumentos de produção e relação benefício-custo (Figura 12). Isto é especialmente relevante pelas características de acidez de grande parte dos solos brasileiros.

Associa-se a isto a restrição causada por toxidez pelo Al, a qual, segundo relatório da FAO, divulgado em 2000, afeta cerca de 63 % da área do Brasil. Esses problemas são resolvidos com uso de doses adequadas de calcário.

Com incentivos fiscais e financiamentos oficiais, de longo prazo, a partir do fim da década de 60 e início da de 70, a capacidade de moagem de calcário no Brasil atingiu

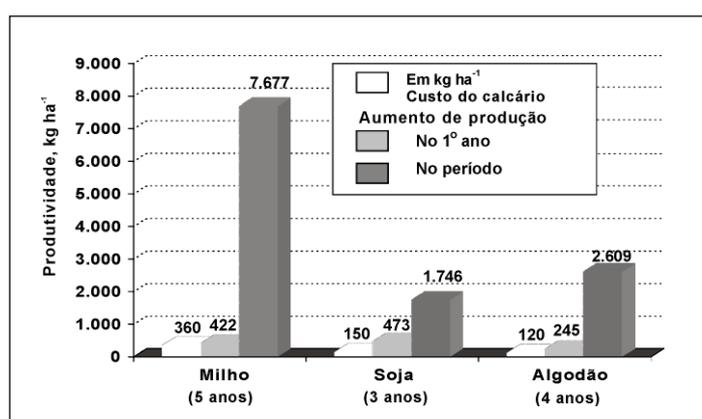


Figura 12. Balanço econômico da aplicação de calcário na dose de 3 t ha^{-1} em três culturas em Mococa, São Simão e Guaira, SP.

Fonte: Adaptado de Raij & Quaggio (1984).

cerca de 50 milhões de toneladas anuais. Isso significou amplo aumento de oferta desse insumo, considerado fundamental para racionalização da produção agrícola no País.

Estimativas que levam em consideração, dentre outros fatores, a explosão do crescimento da agricultura e pecuária na região dos Cerrados revelam uma necessidade de consumo da ordem de 70 milhões de toneladas anuais para o Brasil.

Na verdade, o que ocorreu, em relação ao consumo de calcário, no período de 1984 a 2004, foi que mesmo nos anos de melhor resultado de consumo aparente (2003 e 2004), utilizou-se apenas cerca de 50 % da capacidade instalada de moagem (Figura 13). O ano de 1990 foi o fundo do poço do subconsumo de calcário pela agricultura brasileira, com não mais de 20 % de consumo em relação à capacidade de moagem instalada.

O subconsumo de calcário se agrava ainda mais quando se compara a evolução entre consumo de calcário e de fertilizantes no Brasil, de 1973 a 2004 (Figura 14). Uma relação entre o consumo de calcário e de fertilizantes considerada aceitável pela pesquisa para a agricultura brasileira seria de 2,5 a 3,0 para 1,0 – ou seja, para cada tonelada de fertilizante aplicado, seriam necessárias 2,5 a 3,0 t de calcário.

Essa relação considerada ideal somente foi observada em 1973, estreitando para quase 1 para 1 nos anos recentes, sendo, em 2002, pela primeira vez, o consumo de calcário menor que o de fertilizantes (relação 0,97:1,0). Mesmo que se considere a expansão da área sob plantio direto, sistema que tende a reduzir as necessidades de uso de calcário em relação ao cultivo convencional, o balanço atual está longe do ponto ideal para que sejam atingidas produtividades máximas econômicas no processo produtivo. Isso não significa que se está utilizando muito fertilizante no sistema produtivo da agricultura

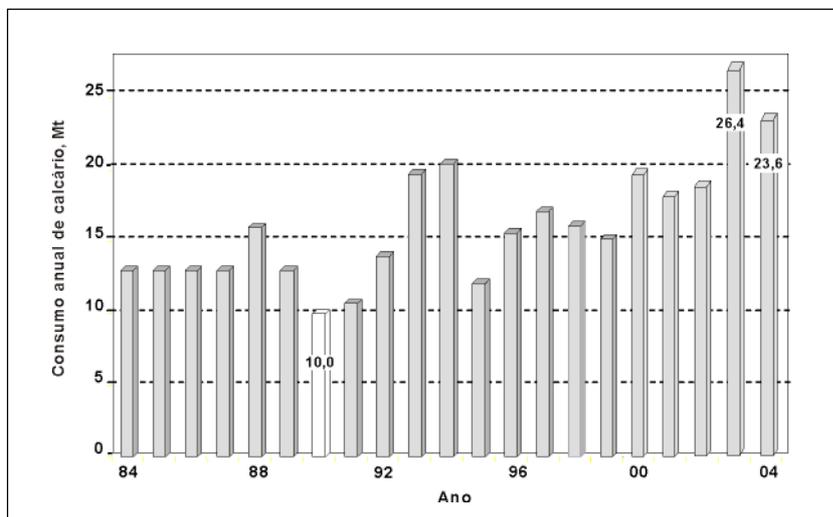


Figura 13. Evolução do consumo aparente, em relação à capacidade instalada de moagem (50 milhões t ano⁻¹) de calcário no Brasil (em milhões de toneladas) no período de 1984 a 2004 e demanda total estimada (75 milhões t ano⁻¹).

Fonte: ABRACAL (2005).

brasileira – os dados mostrados anteriormente indicam que isso não é o caso. O fato, sim, é que é necessário aumentar tanto o uso eficiente de fertilizantes como o de calcário.

Essa subutilização tanto de fertilizantes, principalmente os nitrogenados, como de calcário e de outras tecnologias disponíveis de comprovada eficiência, leva a uma questão: Qual é seu reflexo na produtividade, principalmente em relação aos alimentos básicos?

Os dados da figura 15 comparam as produtividades médias de arroz (Brasil vs China), milho (Brasil vs EUA), trigo (Brasil vs França), feijão e soja (Brasil vs EUA) no Brasil com países que apresentam altas produtividades médias. Percebe-se que, no caso da soja, em que o uso de alta tecnologia é quase uma regra nas áreas de cultivo, a produtividade média brasileira aproxima-se à de um grande produtor mundial, como os Estados Unidos.

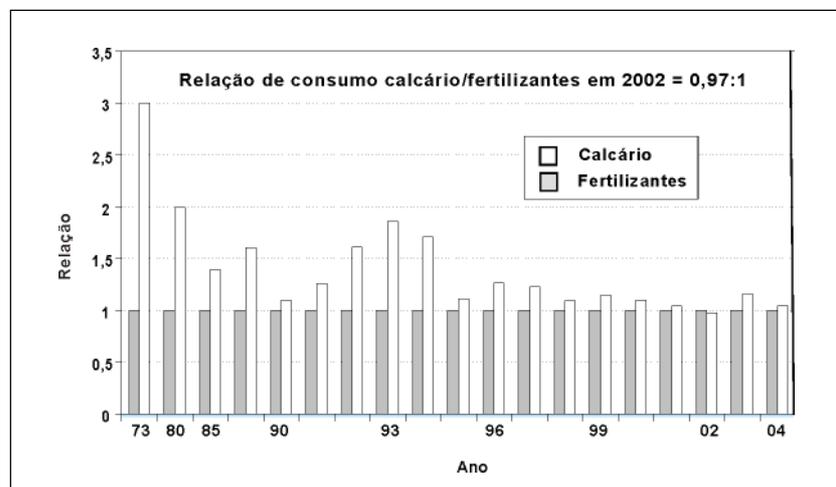


Figura 14. Evolução da relação de consumo calcário/fertilizantes no Brasil no período de 1973 a 2004.

Fonte: ANDA (2005); ABRACAL (2005).

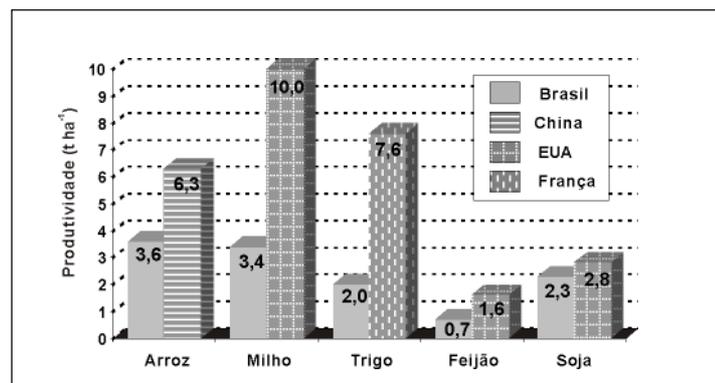


Figura 15. Produtividade média de algumas culturas no Brasil e outros países em 2004.

Fonte: FAO (2005).

Os dados comparativos de produtividade de arroz no Brasil com a China, onde toda a produção é sob irrigação por inundação, são, até certo ponto, questionáveis. Isso porque, no Brasil, a média inclui também áreas de sequeiro, cujas produtividades são muito baixas, em comparação com as do sistema sob irrigação, fazendo cair a média geral do País.

O ponto importante é que muitos bons produtores dessas culturas no Brasil estão com as produtividades muito próximas ou até acima das médias de outros países. São, por exemplo, lavouras brasileiras que atingem 10–12 t ha⁻¹ de milho, 6 t ha⁻¹ de arroz de sequeiro, 8–9 t ha⁻¹ de arroz irrigado, 4 t ha⁻¹ de soja, 6–7 t ha⁻¹ de milho safrinha (após a soja), 3,5 t ha⁻¹ de feijão irrigado, 350 @ ha⁻¹ de algodão e 30 e 50 sacas ha⁻¹ de café, sem o com irrigação.

Estes números demonstram que há disponibilidade de tecnologia para que essas altas produtividades sejam perfeitamente alcançadas, desde que se faça uma diagnose correta das razões dessas diferenças e se adotem medidas para que sejam, pelo menos, reduzidas.

Perspectivas

Um dos maiores desafios da humanidade é a previsão da demanda na produção de alimentos diante do crescimento populacional da terra nas próximas décadas. A produção mundial de alimentos que era de 2 bilhões de toneladas em 1990, quando a população mundial era de 5,2 bilhões deverá passar de 4 bilhões de toneladas no ano de 2025, quando a população mundial deverá ser de 8,3 bilhões de habitantes, segundo estudos e estimativas da Organização Mundial para a Alimentação e Agricultura, FAO (Quadro 3). Para que essas metas sejam alcançadas, a produtividade média de grãos, que era de 2,5 t ha⁻¹ em 1990, deverá atingir 4,5 t ha⁻¹ em 2025.

O Brasil é um dos poucos países com grandes e amplas possibilidades de ser um participante importante nesse processo, pelas seguintes razões:

a) Produtividade: o País possui técnicas sustentáveis de produção para, no curto prazo, conseguir grandes avanços na produtividade média de muitas culturas, principalmente aquelas constituídas de alimentos básicos, como já mencionado.

Quadro 3. Estimativas da população mundial, demanda de alimentos e produtividade agrícola em 1990, 2000 e 2025

	1990	2000	2025
População mundial (bilhões)	5,2	6,2	8,3
Demanda de alimentos (bilhões t)	1,97	2,45	3,97
Produtividade (t ha ⁻¹)	2,5	2,9	4,5

Fonte: Borlaug & Dowsell (1993).

Embora o Brasil disponha de considerável fronteira agrícola a ser explorada, no curto prazo, as políticas públicas de apoio à agricultura deveriam, com absoluta prioridade, incentivar o aumento da produtividade com sustentabilidade nas áreas já incorporadas ao processo produtivo e não a simples expansão da fronteira agrícola. Existem estimativas que o Brasil apresenta 180 milhões de hectares de pastagens nativas ou melhoradas. Destas, 90 milhões de hectares estão degradados ou em início de degradação. Se, desses 90 milhões de hectares, fossem incorporados 30 milhões no processo de produção de grãos, por exemplo, com um produtividade média de 4 t ha^{-1} , a produção brasileira poderia ser aumentada em 120 milhões de toneladas sem a necessidade de desmatar um hectare sequer.

b) Expansão da fronteira agrícola: dispõe da maior fronteira mundial para expansão da agricultura, pois do total de área potencialmente agricultável em 1994, o Brasil utilizou apenas 9,2 %, que representam 50,7 milhões de ha, contra 47,5 % da China (95,7 milhões de ha), 50,2 % da França (19,5 milhões de ha) e 53 % dos EUA (187,8 milhões de ha), por exemplo. Além disso, apesar da disponibilidade de terra agricultável per capita estar decrescendo em nível mundial – de 0,42 ha em 1965 para 0,23 ha em 1995 –, o que ocorreu no Brasil, no período de 1965–1995, foi um incremento de cerca de 10 % na área agricultável real per capita. Com isso, nesse período, saltou de 0,37 para 0,40 ha (Figura 16).

Dados mais recentes, levantados por Pinazza (2003), com base em estimativas da FAO para 2002 (Quadro 4), fazem uma comparação da área total, cultivável em uso e disponível para a agricultura no Mundo e no Brasil. Os dados de que o Brasil apresenta 35 % da área disponível para a agricultura no Mundo são os mais contundentes quanto ao nosso potencial de crescimento em área, no médio e longo prazo.

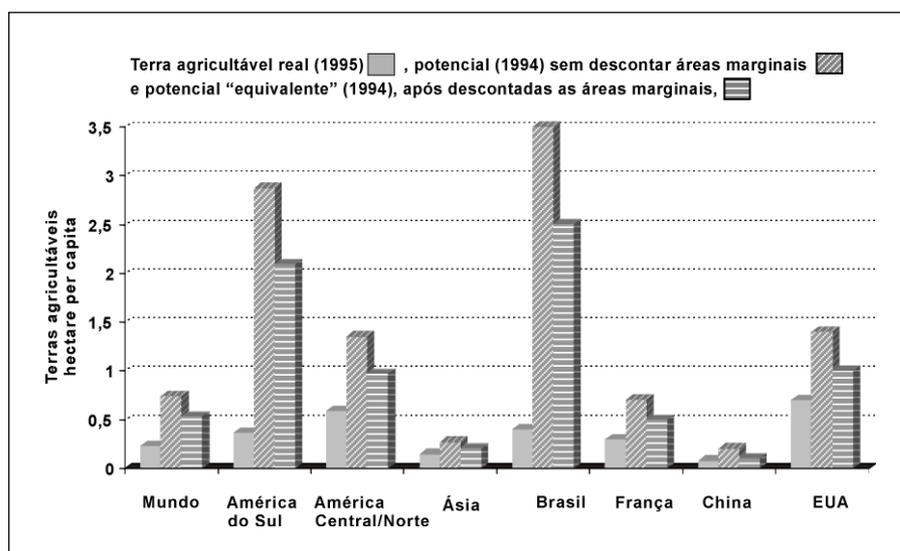


Figura 16. Comparação da disponibilidade de terras agricultáveis no Mundo, nas Américas em alguns países.

Fonte: Bot et al. (2000).

Quadro 4. Comparação da área total, cultivável, em uso e disponível para agricultura no Mundo e no Brasil

Área	Mundo	Brasil	Participação do Brasil
	—————ha—————		%
Área total	13 bilhões	848 milhões	6,5
Área cultivável	2,9 bilhões	547 milhões	18,0
Área em uso	1,5 bilhão	57 milhões	3,8
Área disponível	1,4 bilhão	497 milhões	35,0

Fonte: Pinazza (2003).

Como comparação adicional, destaque-se, por exemplo, que a área potencialmente agricultável do Brasil, de cerca de 550 milhões de hectares, é quase igual à área total de 32 países da Europa (Figura 17). Só a área do Estado do Mato Grosso, que, atualmente, explora apenas 25 % do seu potencial agricultável, é equivalente a grande parte do cinturão do milho (Corn Belt) nos Estados Unidos, uma das áreas mais produtivas do mundo (Figura 18). Só a região dos Cerrados, segundo um estudo de 1995, apresenta potencial para a produção de 354 milhões de toneladas de alimentos, número que pode ser bem maior, levando-se em conta as produtividades que podem ser alcançadas atualmente (Macedo, 1994).

c) Disponibilidade de água: com cerca de 1/5 da água doce do planeta, as possibilidades de aumento da área sob irrigação, com incrementos substanciais na produtividade das culturas, são crescentes.

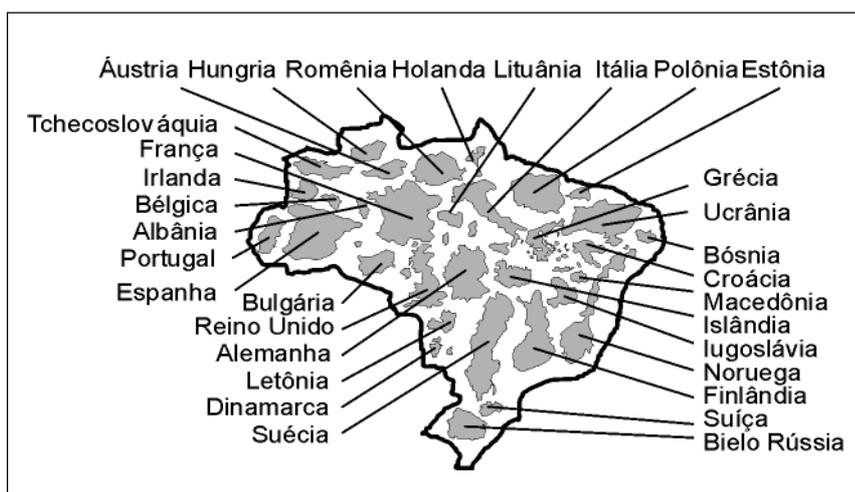


Figura 17. A área agricultável do Brasil (550 milhões de ha) em comparação com a área total de 32 países da Europa.

Fonte: Lopes et al. (2003).

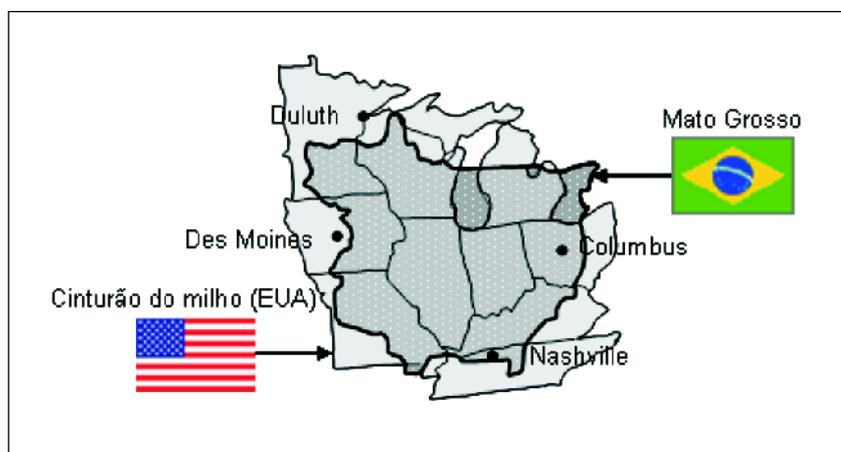


Figura 18. Comparação da área do Mato Grosso no Brasil com o cinturão do milho nos EUA.
Fonte: Lopes et al. (2003).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Embora a Fertilidade do Solo como ciência seja relativamente nova, é notável como o esforço de ensino, pesquisa e extensão no Brasil e no mundo, nessa área do conhecimento, teve tantos reflexos amplamente positivos, contribuindo para o desenvolvimento da agricultura e para o aumento sustentável da produtividade e da produção agrícola.

Para o caso do Brasil, é notável o acervo de informações advindo deste esforço conjunto que resultou, sem dúvida, no reconhecimento do País como líder mundial em tecnologia de manejo da fertilidade dos solos ácidos da região tropical. A incorporação de 10 milhões de hectares dos Cerrados, formados por solos considerados marginais para exploração agrícola intensiva até a década de 60, com a decisiva participação da Fertilidade do Solo como ciência, foi considerada por Norman BORLAUG, Prêmio Nobel da Paz de 1970, como a maior revolução verde de toda a história da humanidade.

Mas é importante enfatizar que o papel da Fertilidade do Solo transcende à pura e simples relação com o aumento da produtividade e com o desenvolvimento da agricultura brasileira, como anteriormente discutido.

Para concluir este capítulo, são apresentados três pontos para reflexão que representam o reconhecimento a todos que se dedicaram ao desenvolvimento da agricultura brasileira, em especial àqueles que se dedicaram à Fertilidade do Solo como instrumento do aumento sustentável da produtividade agrícola no nosso País:

1) Aspectos ambientais: No período de 1970/71 até 2003/04, mesmo estando as produtividades atuais para algumas culturas ainda longe do ponto de máximo econômico, a produção das 16 principais culturas no Brasil (matéria seca) passou de 49,6 para

190,7 milhões de toneladas (aumento de 3,8 vezes); no mesmo período, a produtividade passou de 1,4 para 3,3 t ha⁻¹ (aumento de 2,6 vezes) e a área cultivada passou de 38 para 57,6 milhões de hectares (aumento de apenas 1,5 vez). Como consequência, o aumento da produção foi muito mais pelo aumento da produtividade do que pela simples expansão da área cultivada (Figura 19). Esses dados indicam ainda que, se estivéssemos produzindo hoje (190,7 milhões de toneladas) com as produtividades de 1970/71 (1,4 t ha⁻¹), teríamos de ter incorporado ao processo produtivo da agricultura brasileira mais 80 milhões de hectares. Em outras palavras, o aumento da produtividade, em decorrência de investimentos em tecnologias mais eficientes, incluindo melhor manejo da fertilidade do solo, evitou o desmatamento do equivalente a 80 milhões de hectares. Essa é, talvez, a maior contribuição em termos ambientais resultante desse processo.

Por tudo isso, vale a pena enfatizar, mais uma vez, o papel fundamental para o desenvolvimento sustentável que representa o uso de técnicas que levem ao aumento da produtividade agropecuária nas áreas já incorporadas ao processo produtivo. De fato, ele constitui poderoso instrumento de preservação ambiental, pois diminui as pressões de desmatamento das áreas florestadas, muitas vezes não adequadas ao processo intensivo da produção agropecuária, deixando mais espaço para a vida silvestre, a manutenção da biodiversidade e a preservação da natureza.

2) Aspectos econômicos: Um dos aspectos mais notáveis pertinentes ao crescimento da economia brasileira nos últimos anos foi a evolução do agronegócio. O agronegócio brasileiro, que envolve os segmentos de “antes da porteira” (dentro da fazenda), e “depois da porteira” (fora da fazenda), movimentou, em 2004, recursos da ordem de

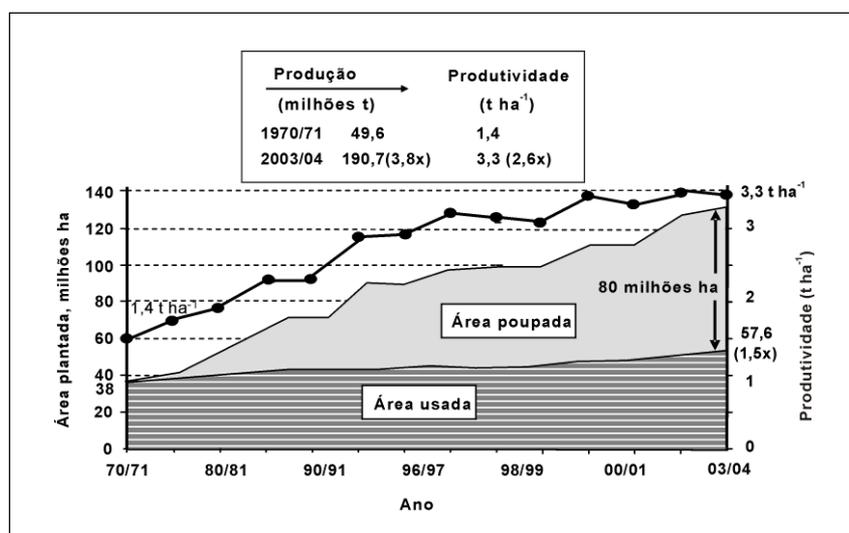


Figura 19. Evolução da área plantada, produção agrovegetal e produtividade das 16 principais culturas no Brasil 1970/71 a 2003/04.

Fonte: Fonte: Adaptado de Lopes et al. (2003); ANDA (2004); IBGE (2005).

R\$ 534 bilhões, o que representa 33 % do Produto Interno Bruto (1.776 bilhões de reais). O agronegócio, como um todo, representa ainda 37 % dos empregos e 40 % da exportações (US\$ 30,6 bilhões).

Dados publicados pela Revista Veja (Ano 37, N° 2. de 12/01/2004) mostram que, em 2003, o Brasil se posicionava no primeiro lugar mundial na exportação dos seguintes produtos: (a) açúcar: vendeu 29 % de todo o açúcar consumido no mundo; (b) café: vendeu 28,5 % do café em grão consumido no planeta e 43,6 % do café solúvel; (c) carne bovina: assumiu a liderança em 2003, com 19 % de participação no mercado mundial; (d) carne de frango: foi o primeiro em vendas, com exportações de 1,9 bilhão de dólares; (e) soja em grão: deteve 38,4 % do mercado mundial; (f) suco de laranja: vendeu 81,9 % do suco distribuído no planeta, e (g) tabaco: vendeu 23,1 % do tabaco consumido no mundo.

Entretanto, é preciso que os segmentos de “antes da porteira” e “depois da porteira” se conscientizem de que se a agricultura for mal, isso afetará também os seus negócios. De uma forma ou de outra, ambos os segmentos devem perceber que são parceiros em ações que mantenham as suas “galinhas-dos-ovos-de-ouro” produtivas e com ganhos que lhes permitam continuar no processo produtivo.

3) Aspectos sociais: Uma das maiores contribuições sociais representada pela evolução da produtividade da agricultura nos últimos anos foi a “involução” dos preços reais dos produtos da cesta básica, beneficiando todos os brasileiros, principalmente aqueles que se encontram no segmento de mais baixa renda da sociedade. De setembro de 1975 a janeiro de 2000, os preços reais dos produtos da cesta básica caíram para 1/3 do valor original, seguindo uma tendência linear de queda nesse período (Figura 20).

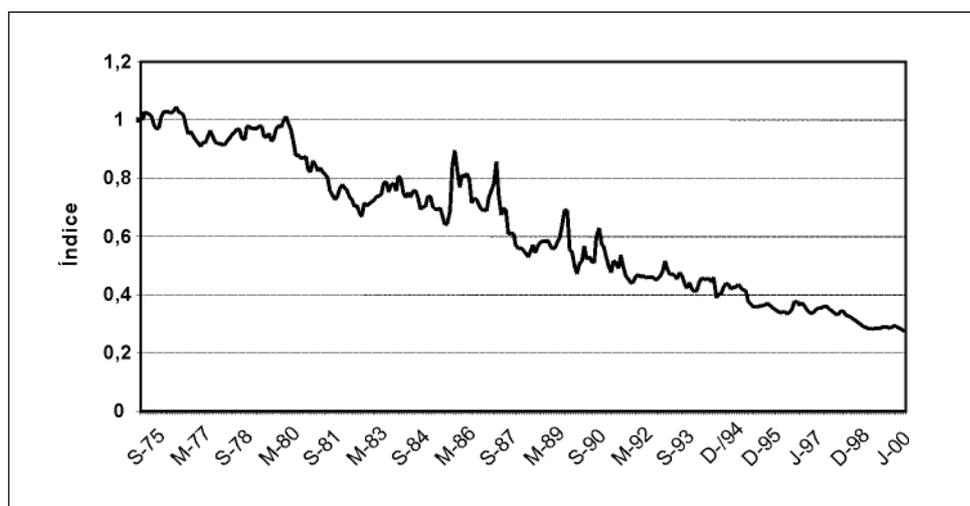


Figura 20. “Involução” dos índices de preços reais dos produtos da cesta básica no Brasil de setembro de 1975 a janeiro de 2000.

Fonte: Portugal (2002).

Dada a relevância dos aspectos supracitados, justifica-se o esforço cada vez maior por parte dos formadores de opinião para levar à sociedade brasileira uma mensagem clara e objetiva sobre a importância do que representa o desenvolvimento da agricultura para melhorar as condições de segurança alimentar, não apenas interna – no Brasil – mas de toda a humanidade.

É necessário que a agricultura brasileira seja considerada um assunto de segurança nacional que leve as autoridades constituídas a estabelecerem políticas agrícolas de mais longo prazo, para que a nossa vocação agrícola seja exercida em sua plenitude e não por meio de instalação de programas do tipo “apaga-incêndio”, deixando o futuro em aberto, ou, o que é na verdade pior, fechado a perspectivas que se vislumbram bastante promissoras para o Brasil.

A expectativa é que os capítulos seguintes dessa publicação possam oferecer aos profissionais em ciências agrárias embasamentos sólidos que lhes permitam atingir, no curto prazo, os anseios como profissionais, colaborando para que o País se torne uma grande Nação socialmente mais justa.

NOTA DOS EDITORES

O primeiro autor deste capítulo, Prof. Alfredo Scheid Lopes (Prof. Emérito da Universidade Federal de Lavras), “Alfredão”, como conhecido por todos nós que o admiramos e respeitamos, não poderia ter seu nome excluído deste brilhante retrospecto da história da Fertilidade do Solo no País.

Sua excelente base científica e enorme carisma fizeram do Alfredão um prelecionista brilhante, presença obrigatória nos mais diversos encontros científicos e acadêmicos no Brasil e no exterior.

Sua participação efetiva na transformação dos solos de Cerrados na realidade agrícola atual não poderia ser esquecida, a começar pela contribuição de sua tese de mestrado (“A survey of the fertility status of soils under “Cerrado” vegetation in Brazil, 1975), seguida de sua tese de Ph.D (Available water, phosphorus fixation, and zinc levels in Brazilian Cerrado soils in relation to their physical, chemical, and mineralogical properties), ambas na North Carolina State University, e todo um trabalho contínuo, nas últimas quatro décadas, dedicado à Fertilidade do Solo, de modo particular dos Cerrados.

Portanto, Alfredão tem sido parte importante dessa história que mostra toda a competência do brasileiro na recuperação de solos tropicais, de modo geral.

Este livro não poderia começar de outra maneira que não pelo excelente capítulo desse destacado cientista.

LITERATURA CITADA

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRODUTORES DE CALCÁRIO AGRÍCOLA - ABRACAL. Calcário agrícola - Consumo aparente no Brasil 1984-2004. 2005. Informações pessoais.
- ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS - ANDA. Anuário estatístico do setor de fertilizantes - 2000. São Paulo, 2001. 151p.
- ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS - ANDA. Anuário estatístico do setor de fertilizantes - 2002. São Paulo, 2003. 158p.
- ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS - ANDA. Anuário estatístico do setor de fertilizantes - 2003. São Paulo, 2004. 152p.
- ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS - ANDA. Anuário estatístico do setor de fertilizantes - 2004. São Paulo, 2005. 162p.
- BORLAUG, N.E. & DOWSWELL, C.R. Fertilizer: To nourish infertile soil that feeds a fertile population that crowds a fragile world. In: IFA - ANNUAL CONFERENCE, 61., New Orleans, 1993. Proceedings. New Orleans, 1993. 18p.
- BOT, A.J.; NACHTERGAELE, F.O. & YOUNG, A. Land resource potential and constraints at regional and country levels. Rome, Land and Water Development Division, Food and Agriculture Organization, 2000. 114p.
- CALEGARI, A.; MONDARDO, A.; BULISANI, E.A.; WILDNER, L.P.; COSTA M.B.B.; ALCANTARA, P.B.; MIYASAKA, S. & AMADO, T.J.C. Adubação verde no Brasil. 2.ed. Rio de Janeiro, AS-PTA, 1993. 346p.
- CATANI, R.A. & GALLO, J.R. Avaliação da exigência de calcário dos solos do Estado de São Paulo mediante a correlação entre o pH e saturação de bases do solo. R. Agric., 30:49-60, 1955.
- CATE, R.B. & VETTORI, L. Ganancias obtenidas por medio del uso de fertilizantes. Datos basados en información obtenida a través de los análisis de suelos. Raleigh, North Carolina State University, 1968. 9p. (Reporte Preliminar, 1 - Serie Internacional de Analisis de Suelos)
- CHATTY, H., O mundo islâmico. Correio UNESCO, 9:13-26, 1981.
- DAFERT, F.W. Sobre estrumes nacionaes - Relatório de 1893. São Paulo, Instituto Agrônômico do Estado de São Paulo, 1895. p.154-166. (Colleção de Trabalhos Agrícolas, Relatórios Annuaes de 1888-1893)
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Novas trilhas no sertão - historia da pesquisa agropecuária em Sete Lagoas: das origens à Embrapa. Sete Lagoas, Embrapa Milho e Sorgo, 2000. 184p.

- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAO. Agricultural production by countries. Oct. 2005 < <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAO. Land and Plant Nutrition Management Service - Land and Water Development Division. Fertilizer use by crop in Brazil. Rome, 2004. 52p.
- FREIRE, J.R.J.; COSTA, J.A. & STAMMEL, J.G. Principais fatores que proporcionaram a expansão da soja no Brasil. R. Plantio Direto, 92, 2006. http://www.plantiodireto.com.br/?body=cont_int&id=713
- GAROLA, C.V. Abonos. I. Materiais fertilizantes. 2.ed. Barcelona, Salvat, 1926. 353p.
- HANDARSON, G. Methods for enhancing symbiotic nitrogen fixation. Plant Soil, 152:1-17, 1993.
- HARRINGTON, J. F. & SORENSON, B. W. O desenvolvimento das terras de Cerrado no Brasil - A experiência do IRI. Tradução: Eduardo P. Cardoso. São Paulo, Agrônômica Ceres, 2004. 63p.
- IBRAFOS. SEMINÁRIO SOBRE O USO DO FOSFOGESSO NA AGRICULTURA, 1., Brasília, 1986. Anais. Brasília, Embrapa-DDT, 1986. 296p.
- IBRAFOS. SEMINÁRIO SOBRE O USO DO FOSFOGESSO NA AGRICULTURA, 2., São Paulo, 2002. Anais. São Paulo, Instituto Brasileiro do Fosfato, 2002. 413p.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Levantamento sistemático da produção agrícola. Outubro 2005. <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/default.shtm>
- INTERNATIONAL FERTILIZER INDUSTRY ASSOCIATION - IFA. Fertilizer consumption statistics from 1970/71 to 2005/06. Oct. 2005. <http://www.fertilizer.org/ifa/statistics.asp>
- LAWES AGRICULTURAL TRUST. Rothamsted Experimental Station - Guide to the classical experiments. Harpenden, 1984. 27p.
- LOPES, A.S. & ABREU, C.A. Micronutrientes na agricultura brasileira: Evolução, histórica e futura. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H. & SCHAEFER, C.E.G.R., eds. Tópicos em ciência do solo. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v.1. p.265-298.
- LOPES, A.S.; GUILHERME, L.R.G. & SILVA, C.A.P. Vocação da terra. 2.ed. São Paulo, Associação Nacional de Difusão de Adubos, 2003. 23p.
- MACEDO, J. Potencialidades dos Cerrados para produção de alimentos. Planaltina, Embrapa-CPAC, 1994. 15p.
- MIELNICZUK, J. & ANGHINONI, I. Avaliação das recomendações de adubo e calcário dos laboratórios oficiais de análises de solos. Trigo Soja, 15:2-15, 1976.

- MIRANDA, E. A luz vem do oriente. *Raízes*, 7: 22-29, 1982.
- MOREIRA, F.M.S & SIQUEIRA, J.O. *Microbiologia e bioquímica do solo*. 2.ed. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2006. 729p.
- OLDEMAN, L.R. *Impact of soil degradation: a global scenario*. Wageningen, ISRIC, 2000. 12p. (Report 2000/2001)
- OLDEMAN, L.R.; HAKKELING, R.T.A. & SOMBROEK, W.G. *World map of the status of human-induced soil degradation: An explanatory note*. 2.ed. Nairobi, International Soil Reference and Information Centre, United Nations Environment Programme, Global Assessment of Soil Degradation GLASOD, 1991. 35p.
- PEOPLES, M.B.; HERRIDGE, D.F. & LADHA, J.K. *Biological nitrogen fixation: An efficient source of nitrogen for sustainable agricultural production?* *Plant Soil*, 174:3-18, 1995.
- PINAZZA, L.A. XXXVII SIMPAS - *Sistemas Integrados de Manejo da Produção Agrícola Sustentável*, Itumbiara, 26 a 28/8, 2003.
- PORTUGAL, A. SIMPÓSIO NACIONAL DO SETOR DE FERTILIZANTES, 2., São Paulo, 2002.
- QUAGGIO, J.A. *Crêterios para calagem em solos do Estado de São Paulo*. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 1983. 76p. (Tese de Mestrado)
- RAIJ, B. van. *Gesso agrícola na melhoria do ambiente radicular no subsolo*. São Paulo, ANDA, 1988. 88p.
- RAIJ, B. van. & QUAGGIO, J.A. *Uso eficiente de calcário e gesso na agricultura*. In: ESPINOSA, W. & OLIVEIRA, A.J., eds. *SIMPÓSIO SOBRE FERTILIZANTES NA AGRICULTURA BRASILEIRA*, 1., Brasília, 1984. Anais. Brasília, Embrapa-DEP, 1984. p.323-346.
- SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO / COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - SBCS-CQFS. *Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina*. Porto Alegre, 2004. 400p.
- TISDALE, S.L.; NELSON, W.L. & BEATON, J.D. *Soil fertility and fertilizers*. 4.ed. New York, Macmillan Publishing, 1990. 754p.
- WAGNER, P. *A aplicação de adubos artificiais na cultura das arvores frutíferas, legumes, flores e nos jardins*. São Paulo, Instituto Agrônômico do Estado de São Paulo, 1985. p.291-327. (Coleção de Trabalhos Agrícolas, Relatórios Annuaes de 1888-1893)
- WOOD, S.; SEBASTIAN, K. & SCHERR, S. *Soil resource condition*. In: *Pilot analysis of global ecosystems: Agroecosystems*. A joint study by the International Food Policy Research Institute and World Resources Institute. Washington DC, International Food Policy Research Institute and World Resources Institute, 2001. p.45-54.

- WORLD RESOURCES INSTITUTE - WRI. World resources 2000–2001: people and ecosystems: The fraying web of life. Washington, DC, United Nations Development Programme, United Nations Environment Programme, World Bank, World Resources Institute, 2000. 400p.
- YAMADA, T. & LOPES, A.S. Balanço de nutrientes na agricultura brasileira. In: SIQUEIRA, J.O.; MOREIRA, F.M.S.; LOPES, A.S.; GUILHERME, L.R.G.; FAQUIN, V.; FURTINI NETO, A.E. & CARVALHO, J.G., eds. Inter-relação fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Universidade Federal de Viçosa, 1999. p.143-161.