

Uso agrícola dos solos do Brasil e balanço de nutrientes

Alberto C. de Campos Bernardi¹ y Pedro L. O. A. Machado²

Introdução

A agricultura brasileira tem tido grandes avanços nas últimas décadas, pela intensificação no uso das terras para produção. A área agrícola do Brasil entre 1990 e 2003 expandiu 24,3%, com crescimento de 125% da produtividade. Na safra de 2002/2003, o agronegócio brasileiro, em razão do recorde de produção de grãos e de bons resultados em outras atividades agrícolas, foi responsável por 25% do PIB nacional, 37% dos empregos gerados, 44% das exportações brasileiras e US\$22 bilhões de superávit na balança comercial. Com esses números, consolida-se o papel determinante do agronegócio brasileiro na geração de riqueza e desenvolvimento nacional.

No entanto, a grande maioria dos solos do país não possui reservas de nutrientes suficientes para sustentar altas produções. O modelo atual de exploração agrícola propõe resgatar a aplicação de insumos, como fertilizantes e corretivos, para eliminar as limitações químicas dos solos e atender às exigências nutricionais das culturas. Este paradigma contribuiu grandemente para o sucesso da Revolução Verde, que, no entanto, não considera as inter-relações ecológicas do sistema solo-planta.

Apesar do sucesso econômico que este modelo de exploração proporcionou à maioria dos sistemas de produção agrícola, as quedas de produtividade, a necessidade de aumentos de produção e a grande extensão de terras degradadas têm mostrado a necessidade de um novo modelo que considere não apenas o aumento da produtividade, mas sim a sua sustentabilidade.

Desde a implementação da Agenda 21, o solo deixou de ser considerado pela sociedade em geral apenas como um meio de produção para também ser considerado como um recurso natural. Daí surge a necessidade de exploração racional deste recurso natural, preservando sua capacidade produtiva, com simultânea manutenção do seu papel no ecossistema e, recuperando aqueles solos marginais ou degradados pelo uso inadequado.

Por isso, o conhecimento dos atributos que compõem os sistemas produtivos e suas inter-relações são cada vez mais necessários. Dessa nova concepção, surge um novo paradigma, que enfatiza os fatores bióticos da produção, como a adaptação das plantas às limitações do solo, o aumento da atividade biológica, a otimização da ciclagem de nutrientes e o uso eficiente dos insumos (Sanchez, 1997).

Deste modo, o objetivo deste estudo foi o de caracterizar os solos do Brasil e sua ocupação com agricultura, elaborar um diagnóstico do balanço de nutrientes na agricultura brasileira atual e apresentar alternativas ecologicamente viáveis de fornecimento de nutrientes.

¹Embrapa Pecuária Sudeste, Rod. Washington Luiz km 234, Cx. Postal 339, CEP 13560-970 - São Carlos - SP, Brasil. alberto@cnppe.embrapa.br

²Embrapa Arroz e Feijão, Rod. Goiânia - Nova Veneza, km 12, Cx. Postal 179, CEP: 75375-000, Santo Antônio de Goiás, GO, Brasil. pedro@cnpaf.embrapa.br

Solos do Brasil e suas limitações

O território brasileiro é caracterizado por uma grande diversidade de tipos de solos, condicionados pelas diferentes formas e tipos de relevo, clima, material de origem, vegetação e organismos associados. Esta diversidade pode ser observada na Figura III-15, elaborada a partir do Mapa de Solos do Brasil (Embrapa, 1981), e atualizada com base no atual Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 1999) por Coelho et al. (2002). Neste Mapa pode-se distinguir 13 principais classes de solos representativas das paisagens brasileiras, onde se observam a grande abrangência dos Latossolos e dos Argissolos.

A extensão de cada classe por região encontra-se no Quadro (Cuadro) III-29, também extraída de Coelho et al. (2002). Os resultados mostram que os solos que predominam na Região Norte são profundos, altamente intemperizados, ácidos, de baixa fertilidade natural e saturados por alumínio, predominando os Latossolos e Argissolos. Na Região Nordeste, ocorrem solos de média a alta fertilidade natural, em geral pouco profundos em decorrência de seu baixo grau de intemperismo, caracterizados nas classes dos Latossolos e Neossolos. A Região Centro-Oeste, é uma vasta superfície muito intemperizada pelos processos erosivos naturais, onde predominam os solos profundos, bem drenados, de baixa fertilidade natural, porém com características físicas favoráveis, na sua grande maioria pertencente à classe dos Latossolos. Na Região Sudeste predominam os Latossolos e Argissolos, bem desenvolvidos e geralmente também de baixa fertilidade natural. E por fim a Região Sul, cujos solos, originados de rochas básicas e sedimentos diversos, são geralmente férteis, distribuídos nas classes dos Latossolos, Neossolos, Argissolos e Nitossolos. Esta diferenciação regional, apresentando considerável variabilidade de solo, clima e relevo, se reflete diretamente no potencial agrícola das terras, na diversificação das paisagens e nos aspectos vinculados ao uso do solo.

Através do Quadro (Cuadro) III-29 e do mapa anteriores nota-se a grande predominância dos Latossolos e Argissolos, os quais ocupam respectivamente 39 e 20% do território nacional. Por definição, os solos distribuídos nestas classes são muito intemperizados com predominância de minerais de argila 1:1 (caulinita, principalmente) e de óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio. São solos que devido ao processo intenso de intemperização, sofreram uma grande perda de bases trocáveis, e são predominantemente ácidos e com baixa capacidade de troca de cátions. As exceções com relação à acidez são os solos localizados na região do semi-árido nordestino.

As principais limitações físicas e químicas ao desenvolvimento da agropecuária na América Tropical, sua extensão e porcentagem de ocorrência foram apresentadas por Sanchez e Salinas (1981), e estão ilustradas no Quadro (Cuadro) III-30. Devido às dimensões continentais, estas limitações apresentadas, principalmente as relacionadas aos solos ácidos, são representativas dos solos do Brasil. Além dos problemas já citados, destacam-se ainda as baixas disponibilidades dos macronutrientes primários (N, P e K), secundários (Ca, Mg e S), e de micronutrientes (Zn e Cu). Existem também grandes extensões de solos ácidos com baixa CTC e alto poder de fixação de fósforo, assim como elevada acidez trocável (Al³⁺). Com relação às limitações físicas há problemas com baixa disponibilidade de água, e o alto risco de erosão.

A suscetibilidade dos solos à erosão é reflexo da interação entre clima, relevo e tipo de solo. A Figura III-16 é a representação da interação destes fatores associados a estimativas experimentais de perdas de solo. As condições mais favoráveis ao desenvolvimento de processos erosivos

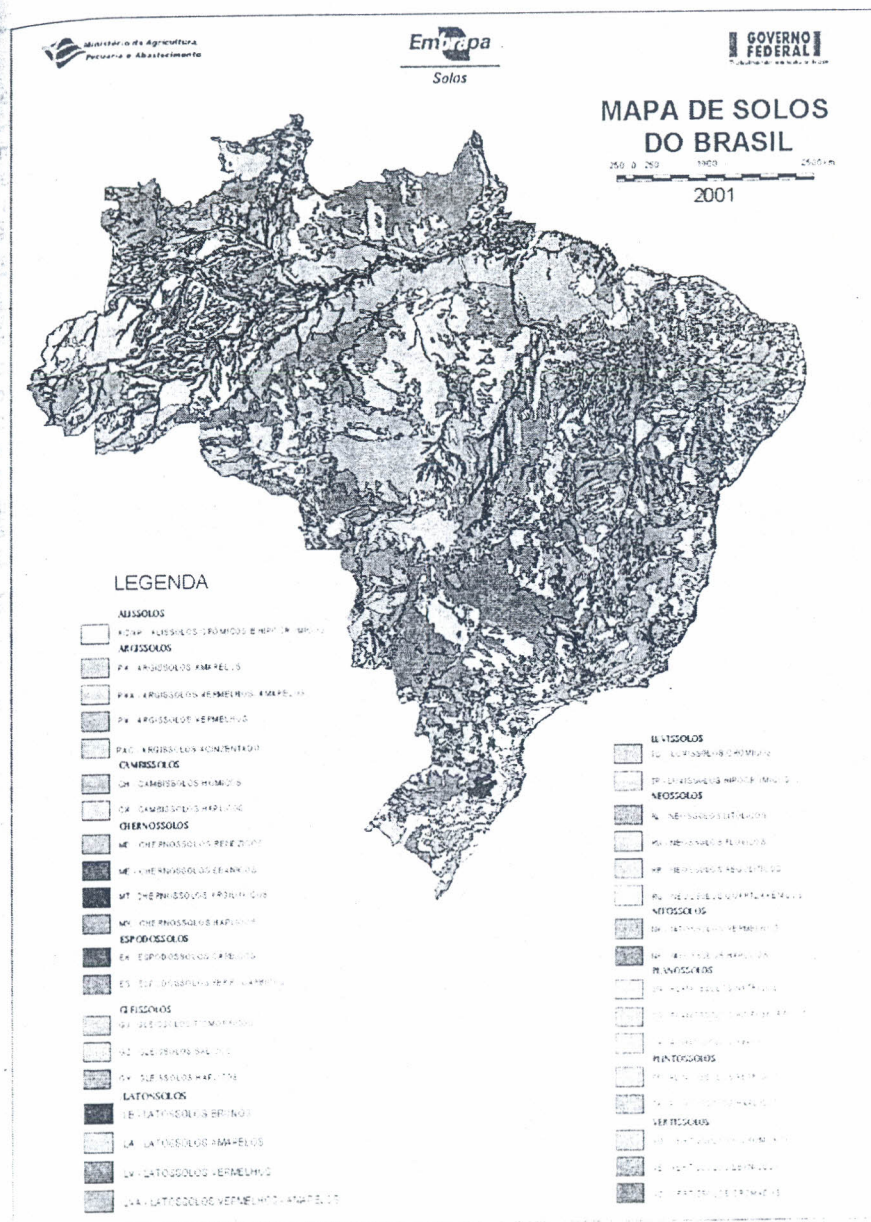
Tipos <i>De Solos</i>	Brasil		Relativa por regiões				
	<i>Absoluta</i> km ²	<i>Relativa</i> %	Norte	Nordeste	Centro-Oeste %	Sudeste	Sul
Alissolos	371.874,5	4,36	8,67	0,00	0,00	0,00	6,34
Argissolos	1.713.853,5	19,98	24,40	17,20	13,77	20,68	14,77
Ambissolos	232.139,2	2,73	1,06	2,09	1,59	8,64	9,28
chernossolos	42.363,9	0,53	0,00	1,05	0,27	0,21	3,94
spodosolos	133.204,9	1,58	3,12	0,39	0,26	0,37	0,00
Gleissolos	311.445,3	3,66	6,41	0,78	2,85	0,5	0,4
Latossolos	3.317.590,3	38,73	33,86	31,01	52,81	56,30	24,96
Luvissolos	225.594,9	2,65	2,75	7,60	0,00	0,00	0,00
Neossolos	1.246.898,9	14,57	8,49	27,55	16,36	9,38	23,23
Nitossolos	119.731,3	1,41	0,28	0,05	1,22	2,56	11,48
Planossolos	155.152,1	1,84	0,16	6,61	1,73	0,16	3,00
Plintossolos	508.539,4	5,95	7,60	4,68	8,78	0,00	0,00
Vertissolos	169.015,3	2,01	3,20	0,99	0,36	1,20	2,60

Quadro (Cuadro) III-29: Extensão e distribuição das classes de solos nas regiões do Brasil
Fonte: Coelho et al. (2002).

Limitações Do solo	América tropical		Solos ácidos	
	1.000.000 ha	% total	1.000.000 ha	% total
Deficiência N	1332	89	969	93
Deficiência P	1217	82	1002	96
Deficiência K	799	54	799	77
Deficiência Ca	732	49	732	70
Deficiência Mg	731	49	739	70
Deficiência S	756	51	745	71
Deficiência Cu	310	21	310	30
Deficiência Zn	741	50	645	62
Alta fixação P	788	53	672	64
CTC efetiva baixa	620	41	577	55
Toxidez Al	756	51	756	72
Baixa disponibilidade de água	626	42	583	56
Alto risco erosão	543	36	304	29
Encharcamento	306	20	123	12
Compactação	169	11	169	16
Laterização	126	8	81	8
Estresse hídrico (> 3 meses)	634	42	299	29

Quadro (Cuadro) III-30: Extensão geográfica das maiores limitações na América tropical.
Fonte: Adaptado de Sanchez e Salinas (1981).

encontram-se nos solos arenosos ou com elevada mudança de textura em profundidade, e também naqueles rasos, localizados em relevos dissecados, configurando classes de suscetibilidade a erosão média, alta ou muito alta. Com base nestas interpretações, 65% das terras brasileiras podem ser consideradas como de moderada a baixa suscetibilidade a erosão. Isto não significa, entretanto, que o planejamento conservacionista deva ser desconsiderado (Hernani et al., 2002).



Uso atual das terras

De acordo com o Censo Agropecuário (IBGE, 1996), as atividades agropecuárias ocupam cerca de 27,6% do território (Quadro (Cuadro) III-31). O principal uso do solo no país é destinado à atividade pecuária, sendo que 21% do território brasileiro é ocupado por pastagens, ou seja, mais que o triplo das terras destinadas à produção de culturas permanentes e lavouras. O aproveitamento de pastagens naturais ainda permanece significativo, com 78 milhões de hectares em todo Brasil. Já para pastagens plantadas, a Região Centro Oeste possui pouco menos da metade da área, com 45 milhões de hectares, seguida pela Região Sudeste com cerca de 20 milhões de hectares.

Apesar da expressiva área ocupada e do rebanho bovino nacional ser atualmente o segundo maior do mundo, com aproximadamente 160 milhões de cabeças (20% leiteiro e 80% para corte), as práticas extrativistas de exploração ainda prevalecem. A realidade da grande maioria dos produtores é a de baixa rentabilidade e conseqüente baixo uso de tecnologias, que na maioria das vezes levam ao processo de degradação das pastagens e conseqüentemente do solo. No entanto, já existem alternativas tecnológicas disponíveis como os programas de melhoramento genético, que incluem inseminação artificial e transferências de embriões, integração lavoura-pecuária, confinamento e semi-confinamento, e o recente programa oficial de rastreabilidade eletrônica de animais (Kluthcoususki et al., 2003; Manzatto et al., 2002; Santos e Câmara, 2002).

Região	Cultura permanente	Cultura temporária	Pastagem natural	Pastagem plantada	Floresta plantada
			1.000.000 ha		
Norte	0,7	2,3	9,8	14,8	0,3
Nordeste	2,6	11,8	20,0	12,1	0,4
Sudeste	3,3	8,4	17,3	20,5	2,5
Sul	0,6	12,8	13,7	7,0	1,9
Centro-Oeste	0,2	7,2	17,4	45,3	0,3
Total	7,5	42,8	78,0	99,7	5,4

Quadro (Cuadro) III-31: Uso agrícola atual das terras do Brasil. FONTE: IBGE (1996).

A área de 43 milhões de hectares atualmente ocupada com lavouras (Quadro (Cuadro) III-31), é relativamente pequena se comparada com a área potencial que o país dispõe para este uso. No entanto uma análise a Figura III-17, retrata uma situação positiva da taxa de crescimento anual da produção grãos, ou seja arroz, feijão, milho, soja e trigo e da área destinada ao plantio.

No período entre 1975 e 2001, houve uma evolução da área plantada de 34% (28,36 para 38,11 milhões de hectares), enquanto a produção e a produtividade obtiveram aumentos de 148% (de 38,1 para 97,3 milhões de toneladas) e 84% respectivamente. Esta evolução mostra que o aumento da produção, que até a década de 60 era obtido pela expansão da área agrícola, mais recentemente foram quase que exclusivamente devido aos aumentos de produtividade. Vários fatores contribuíram para a melhoria da produtividade entre eles a utilização de sementes de variedades geneticamente melhoradas, adoção de práticas de conservação do solo, medidas de controle fitossanitário mais eficientes, e a utilização de adubos e corretivos. Outro fator a ser considerado é de que estes aumentos de produtividade resultaram numa diminuição na utilização de terras no Brasil de aproximadamente 60 milhões de hectares, os quais tiveram outro destino (Cassales e Manzatto, 2002).

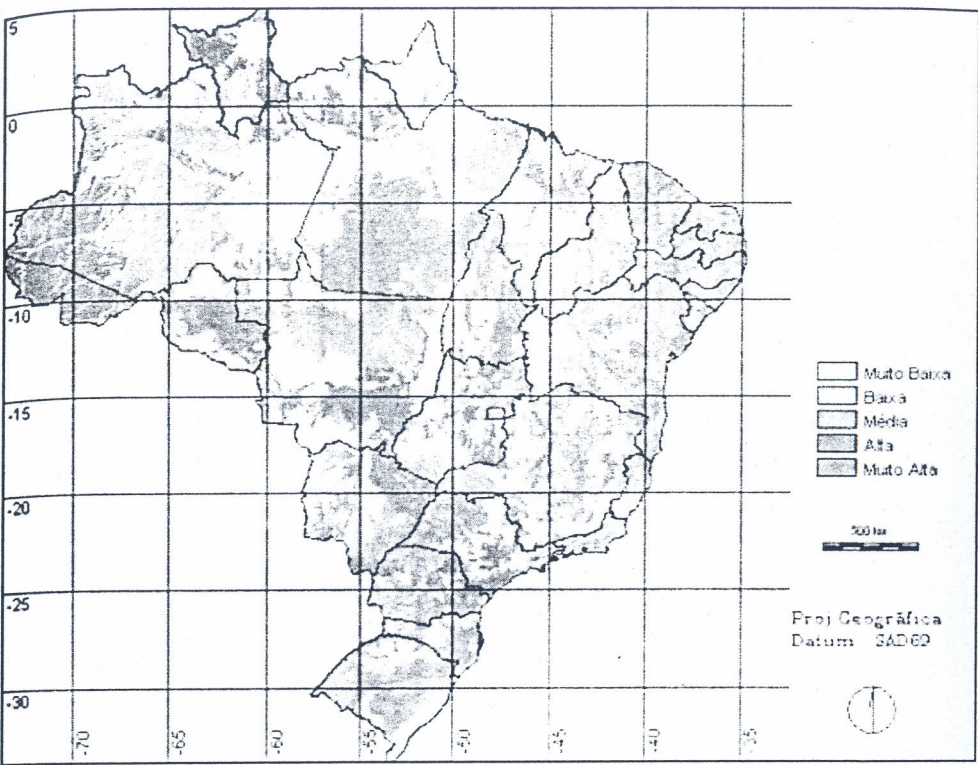


Figura III-16: Mapa de suscetibilidade dos solos à erosão hídrica. Fonte: Hernani et al. (2002).

A região dos Cerrados brasileiros (Centro-Oeste) ocupa uma área de 204 milhões de hectares, dos quais apenas 7 milhões são ocupados com lavouras temporárias e 45 milhões de pastagens (Quadro (Cuadro) III-31), que representam cerca de 16 e 25% das áreas totais com lavoura e pastagens, respectivamente. Porém, contribui com cerca de 33% da safra de grãos, 40% do rebanho bovino nacional e 30% da produção de leite. Estes solos possuem um significado estratégico para a produção futura de alimentos e a competição agrícola, reserva esta que poucos países do mundo dispõem (Manzatto et al., 2002; Santos e Câmara, 2002).

Na área ocupada pelas lavouras tem havido um significativo crescimento da adoção do sistema de plantio direto, uma prática de manejo conservacionista de solo que se caracteriza pela semeadura ou plantio sem prévio preparo do solo com arado, grade ou escarificador. Atualmente abrange uma área de mais de 14 milhões de hectares no Brasil, que representa aproximadamente 30% da área plantada com lavouras temporárias. Foi estabelecido inicialmente na região Sul do país, e na década de 90, verificou-se um incremento de mais de 1,2 milhões de ha na região do Cerrado (FEBRAPDP, 2002 a e b; Saturnino e Landers, 2002). Além dos efeitos positivos do plantio direto sobre o controle da erosão hídrica, existem outras importantes vantagens como a melhoria nas características físicas, químicas e biológicas do solo, tais como retenção de

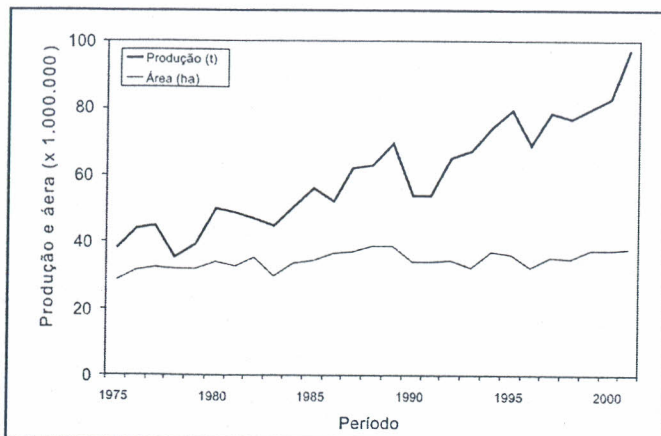


Figura III-17: Evolução da área e produção agrícola de grãos (arroz, feijão, milho, soja e trigo) no Brasil no período de 1975 a 2001. Fonte: IBGE (2003a).

quear os sítios de adsorção no mineral (Wiethölter et al., 1998). Em sistemas de plantio direto, a inclusão da rotação de culturas com leguminosas resulta em economia no uso de adubo mineral nitrogenado na cultura subsequente.

Potencial de uso das terras

O uso adequado da terra é uma das etapas no processo de conservação do solo, como um recurso natural. O emprego de cada parcela de terra de acordo com a sua aptidão, capacidade de sustentação e produtividade econômica, propicia que os recursos naturais sejam colocados à disposição no melhor uso e benefício, e sejam, ao mesmo tempo, preservados para gerações futuras. O Quadro (Cuadro) III-32, extraído de Ramalho Filho e Pereira (1999), apresenta a aptidão agrícola das terras do Brasil por região, evidenciando os diferentes níveis tecnológicos de manejo (primitivo, intermediário e avançado) e tipos de usos indicados.

Verifica-se que há uma grande predominância de terras aptas para lavouras quando comparadas às demais atividades. Considerando os diferentes níveis tecnológicos, o país dispõe de aproximadamente 65% do seu território (5.552.673 km²) de terras aptas ao uso agropecuário. No nível de manejo primitivo (A), predominam terras da classe Restrita, com sérias limitações em todas as regiões do país. Estes resultados confirmam que a utilização de tecnologias rudimentares limitam grandemente o cultivo de lavouras por agricultores. No nível de manejo pouco desenvolvido (B), verifica-se um certo equilíbrio entre as terras das classes Regular e Restrita, que apresentam limitações moderadas e fortes na maioria das regiões brasileiras. Já no nível de manejo desenvolvido e altamente tecnificado (C) ocorre o predomínio de terras com restrições moderadas. Observa-se que as terras mais férteis e propícias à agricultura (classe Boa) estão nos níveis de manejo B e C, e predominantemente nas regiões Sudeste e Sul. Aproximadamente 10% do território nacional, ou cerca de 926.137 km² possuem terras indicadas para uso com pastagem plantada. A Região Sul se destaca positivamente, apresentando elevado potencial para essa atividade.

umidade, oscilação térmica, distribuição do fósforo e matéria orgânica, teor de nitrogênio e distribuição de alguns organismos do solo (Machado e Freitas, 2004). Há ainda evidências indicando que esta prática pode conduzir à economia da utilização de nutrientes, pois em solo sob plantio direto o maior acúmulo de matéria orgânica nos primeiros 10 cm de solo, em relação ao solo sob aração ou gradagens frequentes, permite que haja menor fixação de fósforo nos minerais do solo pois frações orgânicas como os ácidos húmicos podem blo-

de. Cerca de 56% de suas terras apresentam aptidão Boa para pastagens plantadas. As demais regiões se apresentaram constituídas de terras com classe de aptidão Regular e Restrita para pastagem plantada. Com relação à silvicultura, na Região Sul, cerca de 48% de suas terras tem aptidão variando de Boa a Regular. E a Região Nordeste apresenta alta percentagem de terras com aptidão Restrita, com 67% (Manzatto et al., 2002).

Uso de fertilizantes

Uso no mundo

O consumo de fertilizantes no mundo tem sido sistematicamente avaliado por 3 organizações: IFA - International Fertilizer Industry Association, IFDC - International Development Center e FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. O levantamento mais recente mostra que as culturas do trigo, arroz e milho consomem 50% do total de fertilizantes no mundo (FAOSTAT, 2004). Somados os consumos com pastagens, hortaliças, algodão, soja e cana-de-açúcar, este valor fica próximo a 80%. Os principais consumidores mundiais de fertilizantes são mostra-

Tipo de Utilização	Região	Classe de aptidão por nível de manejo (km ²)								
		Nível de manejo A			Nível de manejo B			Nível de manejo C		
		Boa	Regular	Restrita	Boa	Regular	Restrita	Boa	Regular	Restrita
Lavouras	Norte	25,9	205,0	2.045,9	106,9	1.751,6	427,4	30,0	1.731,0	326,1
	Nordeste	13,4	145,1	435,3	15,6	421,1	321,2	7,5	438,5	287,0
	Sudeste	22,7	118,7	147,5	102,9	130,8	330,8	78,2	266,3	46,0
	Centro-Oeste	2,5	68,1	358,1	10,7	385,9	579,2	107,4	636,9	231,5
	Sul	46,2	96,8	142,7	65,0	171,5	162,4	38,4	233,9	48,1
	Total	110,7	633,6	3.130,5	301,0	2.860,8	1.820,9	261,6	3.304,5	918,7
Pastagem plantada ¹	Norte	-	-	-	-	234,1	4,9	-	-	-
	Nordeste	-	-	-	4,9	91,6	28,0	-	-	-
	Sudeste	-	-	-	2,9	40,2	96,8	-	-	-
	Centro-Oeste	-	-	-	-	339,3	22,1	-	-	-
	Sul	-	-	-	34,1	16,8	10,2	-	-	-
	Total	-	-	-	42,0	722,1	167,0	-	-	-
Silvicultura ²	Norte	-	-	-	-	-	3,8	-	-	-
	Nordeste	-	-	-	1,9	33,9	71,9	-	-	-
	Sudeste	-	-	-	-	58,6	9,4	-	-	-
	Centro-Oeste	-	-	-	-	139,4	71,0	-	-	-
	Sul	-	-	-	3,1	7,3	11,2	-	-	-
	Total	-	-	-	5,1	239,3	167,3	-	-	-
Pastagem natural ³	Norte	-	-	9,5	-	-	-	-	-	-
	Nordeste	0,3	141,6	290,8	-	-	-	-	-	-
	Sudeste	-	0,9	77,1	-	-	-	-	-	-
	Centro-Oeste	-	-	209,2	-	-	-	-	-	-
	Sul	19,8	10,4	3,1	-	-	-	-	-	-
	Total	20,1	152,9	589,7	-	-	-	-	-	-

Quadro (Cuadro) III-32: Aptidão agrícola das terras do Brasil por região e por nível de manejo para os diferentes tipos de uso indicados.

¹Terras com aptidão exclusiva para pastagem plantada; não aptas para lavouras. ²Terras com aptidão exclusiva para silvicultura; não aptas para lavouras e pastagem plantada. ³Terras com ocorrência exclusiva de pastagem natural. Fonte: Ramalho Filho e Pereira (1999).

País	Área cultivada (10 ³ ha)	Taxa de aplicação NPK (kg ha ⁻¹)	Relação N:P:K
China	153,9	257,2	1:0,4:0,2
Índia	170,1	94,8	1:0,4:0,2
EUA	178,1	108,6	1:0,4:0,4
Canadá	45,9	58,5	1:0,4:0,2
Austrália	48,6	46,9	1:1,1:0,2
Rússia	125,3	11,8	1:0,4:0,2
França	19,6	202,6	1:0,3:0,4
Argentina	35,0	21,1	1:0,7:0,1
Chile	2,3	197,2	1:0,8:0,4
Brasil	66,6	115,4	1:1,5:1,7

Quadro (Cuadro) III-33: Área cultivada, proporção da área que recebe fertilizantes e o consumo total de fertilizantes dos principais países consumidores.
Fonte: FAOSTAT (2004).

dos no Quadro (Cuadro) III-33. O Brasil é um dos maiores consumidores mundiais de fertilizantes químicos. Comparado com outros países em desenvolvimento, o Brasil destaca-se pelo nível relativamente alto de uso de fertilizantes químicos por área (115,4 kg ha⁻¹ NPK), superado na América Latina somente pelo Chile (197,2 kg ha⁻¹). Outro ponto a destacar são as proporções entre os macronutrientes. A relação entre N, P e K no Brasil é de 1:1,5:1,7, indicando alta proporção de uso de K em comparação com os Estados Unidos, países europeus, China e Índia, nos quais predomina o uso de N. No entanto, o baixo consumo proporcional de fertilizantes nitrogenados também pode ser indicativo das baixas produtividades observadas no País. Esta relação de consumo é histórica e, em média, de 1:1,43:1,55, segundo Yamada e Lopes (1999).

Uso de fertilizantes no Brasil

Como exposto anteriormente, os solos brasileiros são em geral ácidos, pobres em fósforo, cálcio, magnésio e com teores altos de alumínio. No entanto, aplica-se muito menos fertilizante e corretivo que o recomendado. Observa-se que apenas nas culturas da soja e cana-de-açúcar há uma utilização mais abrangente de fertilizantes, sendo que as taxas médias de adubação estão na faixa de 95 e 97%, respectivamente. As demais as taxas de fertilização não ultrapassam os 88% da área total (Quadro (Cuadro) III-34).

Os dados apresentados pela FAO (1999) mostraram que as culturas que mais utilizaram fertilizantes são soja (24%), milho (23%), cana-de-açúcar (21%), seguidas pelo café, arroz, feijão, trigo, laranja, batata e algodão. Essas 10 culturas consomem aproximadamente 94% dos fertilizantes do País (Quadros (Cuadros) III-33 e III-34). Os dados mostrados por Yamada e Lopes (1999) corroboram estas constatações.

Embora responsável por três quartos do consumo total de fertilizantes (N, P₂O₅ e K₂O) na América Latina, no período entre 1975 e 1989 o Brasil não ultrapassou o consumo de 5,0 milhões t anuais e entre 1989 e 1999 o consumo aumentou apenas 800 mil t. A partir de 2000 tem havido grande crescimento do consumo e atualmente o montante total está próximo de 7 milhões t (Figura III-18). As quedas de consumo relacionam-se a problemas de crédito, frustração de safras e baixos preços dos produtos agrícolas, enquanto os aumentos geralmente envolvem rela-

Culturas	Área Cultivada 1000 ha	% Área Fertilizada	Taxa de aplicação Kg ha ⁻¹			Consumo 1000 t			
			N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Total
Milho	13888	76	35	36	36	369,4	380,0	380,0	1129,4
Soja	11376	97	5	51	51	55,2	562,8	562,8	1180,8
Feijão	4939	68	11	21	12	36,9	70,5	40,3	147,7
Cana-de-açúcar	4902	95	70	56	95	326,0	260,8	442,4	1029,2
Arroz	3605	76	30	46	27	82,2	126,0	74,0	282,2
Café	3021	84	97	24	97	164,7	40,7	164,7	370,1
Trigo	1837	83	8	41	41	12,2	62,5	62,5	137,2
Laranja	971	85	55	28	55	45,4	23,1	45,4	113,9
Algodão	682	85	26	49	49	15,1	28,4	28,4	71,9
Batata	181	88	93	324	185	14,8	51,6	29,5	95,9
Total	44402	-	-	-	-	1121,9	1606,5	1829,9	4558,2

Quadro (Cuadro) III-34: Área plantada das principais culturas no Brasil, porcentagem da área fertilizada, taxa de aplicação e utilização total de nutrientes, dados referentes a 1996.
Fonte: FAO (1999).

ção de troca favorável entre fertilizantes e produtos agrícolas em associação a safras satisfatórias quanto à produtividade.

O K tornou-se, no Brasil, o principal macronutriente consumido desde o início dos anos 90 e a tendência atual de desenvolvimento do setor agropecuário está favorecendo o crescimento do uso de fertilizantes potássicos, sendo a maior parte comercializada como cloreto de potássio. No caso da soja, por exemplo, depois do N, o K é o segundo elemento absorvido em grandes quan-

tidades pela planta e em cada 1.000 kg de sementes produzidas são extraídos 20 kg de K₂O (MASCARENHAS et al., 2004).

A principal fonte de fertilizante nitrogenado utilizada é a uréia, apesar de seus grandes problemas de perdas por volatilização quando aplicada em superfície ou sobre a palha, como em SPD. Já o fertilizante fosfatado mais utilizado é o superfosfato simples, sendo, além de excelente fonte de P, também de Ca e enxofre (S).

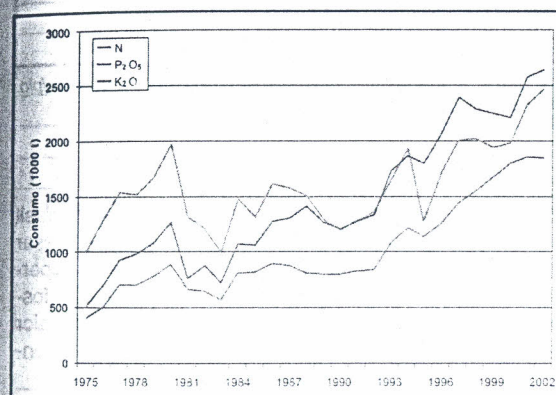


Figura III-18: Consumo de fertilizante N, P₂O₅ e K₂O no Brasil.
Fonte: FAOSTAT (2004).

O IBGE (1996) apresentou dados estatísticos em nível municipal indicando o número de estabelecimentos que sistematicamente aplicaram fertilizantes químicos, sem diferenciar entre N, P e K. O resultado, representado no cartograma da Figura III-19, com base nos dados do Censo Agropecuário (IBGE, 1996) e mostram o avanço tecnológico da agricultura na Região Sudeste, com investimentos muito altos, e o extremo oposto que ocorre na Região Nordeste, com baixo uso de tecnologias adequadas tanto nos minifúndios como nos latifúndios. Mas, para o País em geral, o nível de uso de fertilizantes químicos está ainda longe do ótimo. Segundo esse levantamento, apenas 31,9% dos 4,86 milhões de estabelecimentos re-

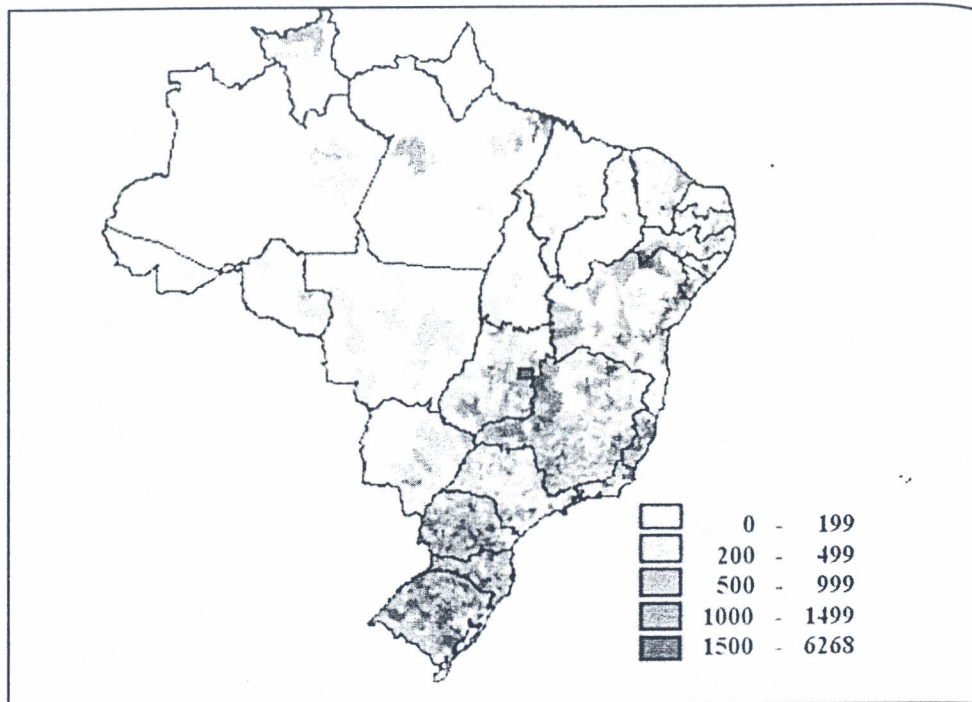


Figura III-19: Número de estabelecimentos que relataram uso sistemático de fertilizantes químicos, por município. Fonte: Dados de IBGE (1996) e IBGE (2003b), adaptado de Oliveira et al. (2005).

lataram o uso sistemático de fertilizantes químicos.

O Quadro (Cuadro) III-35 mostra o consumo aparente de fertilizantes e matérias primas no Brasil no período de 1991 a 2000. A principal fonte de fertilizante nitrogenado utilizada é a uréia, apesar dos grandes problemas de perdas por volatilização deste fertilizante, quando aplicado em superfície ou sobre a palha como no plantio direto. Já o fertilizante fosfatado mais utilizado é superfosfato simples, sendo uma excelente fonte, além de fósforo, também de cálcio e enxofre. E a maior parte do fertilizante potássico é comercializada como cloreto de potássio. Destaca-se ainda o consumo de fosfato monoamônio (MAP) e sulfato de amônio.

A partir da década de noventa, houve grandes investimentos na indústria de fertilizantes, que modificou uma situação em que a maior parte das matérias primas para fabricação de fertilizantes era importada. As produções nacionais das principais matérias primas estão no Quadro (Cuadro) III-35. A situação em 1996, de acordo com Yamada e Lopes (1999), era de que cerca de 47% da oferta de fertilizantes era suprida pela indústria nacional, e o restante suprido pela importação.

Para os micronutrientes não existem dados estatísticos disponíveis, como existem para os macronutrientes. Segundo Yamada e Lopes (1999), a estimativa do consumo total de produtos como fonte de micronutrientes era de 150 mil toneladas por ano, com as concentrações médias de:

4 a 8% de boro, 2 a 6% de cobre, 8 a 15% de manganês e, 12 a 15% de zinco. Em termos de quantidades seriam: 9 mil t de boro, 6 mil t de cobre, 17 mil toneladas de manganês e, 20 mil toneladas de zinco. Dados recentes publicados indicam a evolução do uso vem crescendo constantemente, e já chegou a cerca de 500 mil toneladas anuais (em 2003). Os micronutrientes para uso foliar alcançaram 200 mil toneladas comercializadas.

Em função da acidez excessiva dos solos, deveriam ser aplicados cerca de 75 milhões de toneladas anuais de calcário. Aplica-se hoje no país cerca de 20 milhões de toneladas de calcário por ano (Quadro (Cuadro) III-36). Embora a capacidade instalada para mineração e processamento seja atualmente de 50 milhões de toneladas anuais, a quantidade aplicada permaneceu praticamente constante nos últimos anos (Yamada e Lopes, 1998). Portanto, a cada ano, cerca de 60 milhões de toneladas de calcário deixam de ser aplicadas, resultando em menor eficiência dos fertilizantes, menor produtividade das lavouras, menor renda para os agricultores, maior perda da capacidade produtiva dos solos e, conseqüentemente, pressão sob os recursos naturais. No Quadro (Cuadro) III-37 estão apresentados os Estados com os maiores consumos de corretivos, os quais são também onde se tem as maiores áreas agrícolas e a agricultura é mais tecnificada. Provavelmente nas regiões que não estejam utilizando calcário, ou que este uso esteja abaixo do recomendado, deve estar havendo uma menor eficiência no uso de fertilizantes. Isso ocorre, pois existe uma interação positiva da calagem com o eficiência da adubação. Por exemplo, para uma melhor eficiência da adubação fosfatada em culturas anuais, é imprescindível que se faça antes a correção do solo. O efeito da calagem, na melhoria da eficiência de utilização de P pelas culturas,

	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Fertilizantes (1000 t)										
Sulfato de amônio	921	843	960	918	1077	1239	1347	1195	1365	1864
Uréia	868	942	1298	1278	1284	1407	1672	1570	2155	2250
Nitrato de amônio	199	213	216	270	327	374	423	396	346	711
Superfosfato simples	2145	2267	2812	2954	2707	2949	3529	3701	3650	4297
Superfosfato triplo	776	755	701	844	653	774	945	844	760	937
Fosfato mono-amônio (MAP)	553	583	975	1060	1058	1210	1496	1519	1616	2045
Fosfato di-amônio (DAP)	123	110	128	157	91	76	80	63	35	175
Fosfato parcialmente acidulado	93	119	131	144	171	89	49	37	-	8
Cloreto de potássio	2071	2175	2851	2802	2369	3384	3955	3619	3733	4784
Outros	824	914	895	787	658	866	887	608	423	474
Total	8.573	8.921	10.967	11.214	10.395	12.368	14.383	13.552	14.083	17.545
Matérias primas (1000 t)										
Amônia	940	938	821	1016	1011	1000	1147	876	1099	989
Ácido fosfórico	649	520	659	619	630	646	640	647	627	817
Ácido sulfúrico	2452	2066	2221	2631	2776	2397	3026	3161	3070	3543
Enxofre	1021	843	887	1133	1167	1172	1229	1268	1349	1335
Total	5.062	4.367	4.588	5.399	5.584	5.215	6.042	5.892	6.145	6.684

Quadro (Cuadro) III-35: Consumo aparente de fertilizantes, nutrientes e matérias primas no Brasil no período de 1991 a 2000. Fontes: IBGE; SECEX/MDIC; ANDA; SIACESP

não está associado apenas à maior disponibilidade do P, mas também a um maior desenvolvimento do sistema radicular das culturas e a uma menor ou nenhuma interferência do Al trocável na absorção e utilização do P e dos outros nutrientes.

	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
					1.000 t					
Produção	10.525	15.624	19.390	20.457	12.245	14.763	17.432	18.285	15.768	19.305
Consumo aparente	10.525	15.408	19.659	20.435	12.262	15.617	17.059	18.136	15.304	19.812

Quadro (Cuadro) III-36: Produção e consumo aparente calcário no Brasil no período de 1991 a 2000.

Fontes ANDA/ABRACAL

Estado	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
					1.000 t					
São Paulo	2.000	3.430	3.611	4.567	3.362	3.437	3.724	3.597	3.205	3.323
Mato Grosso	1.000	1.426	2.228	2.284	774	1.343	1.254	1.914	1.351	3.100
Minas Gerais	1.700	1.800	2.300	2.341	1.770	1.870	1.958	1.877	2.177	2.987
Goiás	800	1.762	1.940	2.330	1.180	2.350	1.644	1.591	1.990	2.550
Paraná	2.000	2.073	2.812	3.481	1.852	2.422	2.907	2.532	2.166	2.285
Rio Grande do Sul	1.175	2.818	3.696	3.122	1.392	1.799	2.319	2.103	1.871	2.004

Quadro (Cuadro) III-37: Consumo aparente de calcário nos principais Estados (1000 t).

Fontes ANDA/ABRACAL

No Quadro (Cuadro) III-38 são apresentadas as áreas plantadas das principais culturas e as taxas de utilização dos fertilizantes macronutrientes nos Estados brasileiros. Os dados indicam grandes diferenças geográficas. No Estado de São Paulo, 64,7% dos estabelecimentos usaram fertilizantes químicos sistematicamente. No Estado do Paraná, que foi o principal produtor de soja até a inclusão da região do Cerrado, e em cujo setor agrícola predomina o cooperativismo com tecnologia moderna, o nível médio de uso sistemático de fertilizantes químicos foi de 60%.

Extração de nutrientes

Principais culturas

A produtividade média e os teores macro e micronutrientes na parte colhida das principais culturas brasileiras (algodão, arroz, batata, cacau, cana-de-açúcar, café, laranja, eucalipto, feijão, mandioca, manga, melão, milho, soja, tomate e trigo) estão no Quadro (Cuadro) III-39. A partir destes dados calculou-se as quantidades extraídas através da multiplicação da concentração de nutrientes na parte colhida pela respectiva produção brasileira. A partir do estabelecimento de produtividades ótimas, foi feita uma simulação das quantidades a extração de nutrientes para estas produtividades.

A avaliação da quantidade de macronutrientes primários extraídos em 2002 pelas principais cul-

Região ou Estado	Área plantada das principais culturas* (1000 ha-1)	Utilização dos fertilizantes (macronutrientes)				Fórmula N : P : K
		N	P2O5	K2O	Total	
Brasil	54.574	32,7	45,8	50,3	128,8	7 : 17 : 17
Norte	2.120	5,5	9,9	10,3	25,7	
Roraima	484	2,4	4,4	4,1	10,9	4 : 16 : 14
Acre	102	0,5	0,7	0,5	1,7	n.d.
Amazonas	144	3,8	3,5	5,1	12,4	5 : 21 : 8
Roraima	38	2,0	7,3	5,9	15,2	12 : 13 : 13
Para	1.009	4,0	7,9	8,3	20,2	5 : 12 : 22
Amapá	13	47,5	76,4	120,0	243,9	9 : 8 : 21
Tocantins	350	20,4	35,8	34,9	91,1	5 : 20 : 10
Nordeste	10.135	13,1	17,1	21,2	51,4	
Maranhão	1.294	7,5	21,7	19,5	48,7	4 : 17 : 22
Piauí	799	3,3	9,0	8,7	21,0	7 : 19 : 17
Ceará	1.492	1,4	1,0	1,8	4,2	12 : 12 : 21
Rio Grande do Norte	311	12,0	10,2	16,8	39,1	11 : 20 : 11
Paraíba	484	8,6	5,4	11,1	25,1	12 : 27 : 10
Pernambuco	1.061	17,5	10,2	22,0	49,7	14 : 15 : 14
Alagoas	653	40,7	22,5	53,4	116,6	12 : 13 : 12
Sergipe	264	10,0	7,5	9,5	27,0	13 : 12 : 16
Bahia	3.777	17,5	29,4	30,9	77,8	5 : 16 : 14
Sudeste	12.794	68,0	59,2	78,7	205,9	
Minas Gerais	5.481	71,2	66,7	81,4	219,3	8 : 16 : 15
Espírito Santo	869	49,5	19,3	50,9	119,7	20 : 7 : 17
Rio de Janeiro	236	22,2	17,8	33,7	73,7	8 : 8 : 17
São Paulo	6.208	70,3	60,9	82,5	213,8	12 : 14 : 17
Sul	19.610	30,1	44,3	44,6	119,0	
Paraná	8.734	32,4	48,8	47,0	128,3	9 : 17 : 17
Santa Catarina	3.399	42,4	36,8	33,0	112,2	14 : 16 : 13
Rio Grande do Sul	7.477	24,4	40,9	44,5	109,8	8 : 18 : 19
Centro-Oeste	11.242	28,5	115,0	72,0	215,5	
Mato Grosso do Sul	2.167	29,6	66,5	63,0	159,1	5 : 19 : 18
Mato Grosso	5.613	22,7	74,9	73,5	171,1	2 : 19 : 17
Goiás	3.370	36,1	81,8	75,4	193,3	5 : 19 : 18
Distrito Federal	93	59,2	106,1	86,9	252,2	10 : 16 : 17

Quadro (Cuadro) III-38: Utilização de fertilizantes (macronutrientes) nos Estados brasileiros.

*Algodão, arroz, batata, cacau, café, cana, citros, feijão, mandioca, manga, melão, milho, silvicultura, soja, tomate e trigo.

Fontes: IBGE (2002) e ANDA (2003).

turas brasileiras (Figura III-20A) mostra que o nitrogênio foi o nutriente mais extraído com 4.404 mil toneladas, seguido do potássio com 1.846 mil toneladas, equivalentes a 2.233 mil toneladas de K₂O, e do fósforo com 520 mil toneladas, equivalentes a 1.191 mil toneladas de P₂O₅. A relação N:P₂O₅:K₂O foi de 3,7:1,00:1,87.

Quanto aos macronutrientes secundários (Figura III-20B), as extrações de cálcio, magnésio e enxofre foram respectivamente, 444, 339 e 384 mil toneladas. Dos micronutrientes (Figura 6), o ferro foi o mais extraído pelas plantas em 2002 (18.654 t), seguido pelo manganês (9.194 t), zinco (6.100 t), boro (3.513 t), cobre (2.182) e molibdênio (182 t).

Culturas	Produção 10 ³ t ou m ³	Área plantada 10 ³ ha	Macronutrientes						Micronutrientes					
			N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Mo
			kg por t						g por t					
Algodão	2.166	764	23,0	4,0	16,0	8,4	3,7	7,7	33,0	10,0	243,0	14,6	12,3	150
Arroz	10.446	3.172	12,0	3,0	3,0	1,0	1,0	0,7	4,4	6,3	60,9	25,2	40,9	160
Batata	3.126	161	3,0	0,3	4,0	0,2	0,2	0,2	2,0	2,0	20,0	20,0	4,0	1000
Cacau	175	680	32,0	6,0	48,0	1,0	2,0	1,0	12,0	16,0	80,0	28,0	47,0	40
Café	2.611	2.429	18,0	1,2	27,0	3,4	1,4	1,5	25,0	16,5	105,0	25,0	39,3	6
Cana	364.389	5.207	1,2	0,2	1,1	0,1	0,2	0,2	2,0	1,8	25,0	12,0	5,0	20
Citros	19.515	882	2,2	0,2	1,8	0,5	0,1	0,1	2,2	1,2	6,6	2,8	0,9	8
Feijão	3.064	4.322	35,0	3,5	14,7	3,1	2,6	3,7	70,0	10,0		17,0	30,0	1000
Mandioca	23.148	1.747	3,0	0,3	3,0	0,6	0,3	0,1	1,8	0,8	24,0	1,6	4,6	-
Manga	850	68	1,3	0,2	1,6	-	-	0,2	0,9	1,3	3,6	3,5	1,4	4,40
Melão	352	17	2,0	0,5	2,4	-	-	-	8,8	22,0	45,2	28,3	10,9	-
Milho	35.941	12.305	20,0	4,0	5,5	0,1	1,8	1,7	1,5	8,0	40,0	8,0	40,0	1000
Silvicultura*	196.541	4.247	1,1	0,1	0,7	1,6	0,4	0,5	3,7	2,3	10,0	20,0	1,1	29
Soja	42.108	16.376	60,6	5,2	18,7	1,9	2,2	3,2	30,0	15,0	100,0	20,0	42,5	3000
Tomate	3.653	63	1,8	1,0	2,1	0,1	0,2	0,3	5,0	10,0	25,0	24,0	25,0	12
Trigo	3.106	2.152	22,5	4,5	13,5	1,0	3,0	1,3	133,0	0,0	40,0	30,0	0,1	-

Quadro (Cuadro) III-39: Produtividade atual e ótima e extração de nutrientes das principais culturas no Brasil.

*Eucalipto e Pinus, produção de lenha, madeira em tora, para papel e celulose para outras finalidades.

Fonte: Barbosa Filho (1987); Burton (1989); Castelan et al. (1991); Haag et al. (1991a); Haag et al. (1991b); IBGE (2002); Malavolta (1986); Malavolta e Violante Neto (1989); Malavolta et al. (1997); Oliveira e Thung (1988); Nakagawa (1991); Raj et al. (1997); Yamada e Lopes (1999).

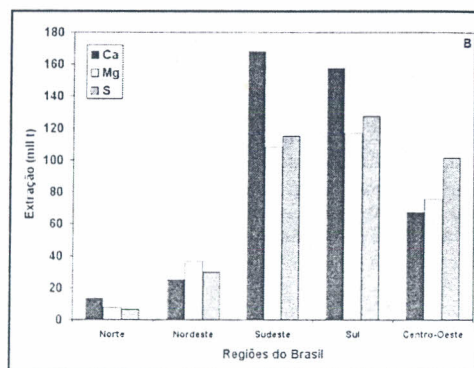
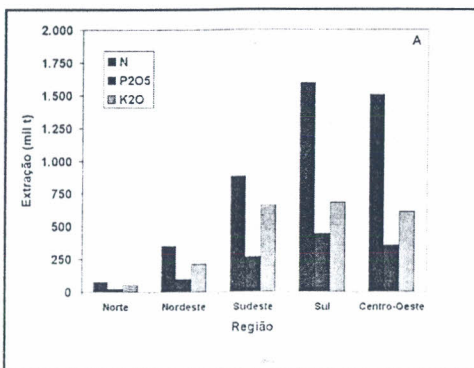


Figura III-20 A y B: Extração de macronutrientes primários N, P e K (A), secundários Ca, Mg e S (B) pelas principais culturas no Brasil, com base no ano de 2002.

Observa-se na Figura III-20A, que em termos regionais, no Sul as culturas geraram em 2002 as maiores quantidades de extração de nutrientes primários: 1.598 mil toneladas de N, 444 mil toneladas de P₂O₅ e 682 mil toneladas de K₂O, as quais respectivamente representaram 36, 37 e

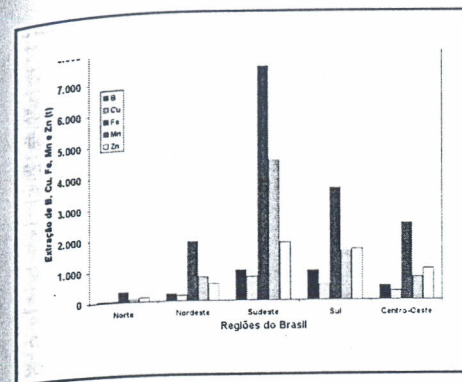


Figura III-21: Extração de micronutrientes B, Cu, Fe, Mn e Zn pelas principais culturas no Brasil, com base no ano de 2002.

Sudeste, Sul, Centro-Oeste, Nordeste e Norte. A extração de molibdênio não foi representada na Figura III-21 por ser de ordem muito inferior aos demais valores. Porém a ordem de extração por região é: Centro-Oeste, Sul, Sudeste, Nordeste e Norte, com respectivamente 39, 38, 16, 6 e 1% do total de 182 toneladas extraídas do micronutriente.

Pastagens

Dos quase 178 milhões de hectares sob pastagem, cerca de 100 milhões são de pastagens plantadas ou cerca de 13% da área total do País. As principais forrageiras utilizadas são: as do gênero *Brachiaria* (*B. decumbens*, *B. brizantha*, *B. ruziensis* e *B. humidicola*), *Panicum maximum* (Capim-Tanzânia, Mombaça e Colômbio), *Andropogon gayanus*, *Hyparrhenia rufa* (jaraguá), *Digitaria decumbens* (pangola) e outros de expressão mais regionalizada.

A maior parte da pecuária brasileira caracteriza-se como uma atividade extensiva e extrativista, que apresenta baixos índices produtivos. O rebanho bovino nacional é mantido, na sua maioria, em pastagens implantadas em solos de baixa fertilidade e que não recebem corretivos ou fertilizantes. A ausência desses insumos, tanto na implantação como na manutenção, e o manejo inadequado das gramíneas e dos solos são as principais causas de degradação das pastagens no país. Estima-se que apenas no Brasil Central, aproximadamente 80% dos aproximadamente 50 milhões de hectares de pastagens estejam degradados ou em processo de degradação.

A degradação das pastagens estão entre as principais causas para que a pecuária nacional apresente índices zootécnicos muito baixos. A taxa média brasileira de ocupação é de 0,5 UA ha⁻¹ (UA = 450 kg peso vivo), com produtividades anuais de carne e de leite em torno de 50 e 2.000 kg ha⁻¹, respectivamente.

A remoção de nutrientes pelas forrageiras varia de 200 a 300kg de N, 30 a 60kg de P e 200 a 500kg de K por hectare. Já a remoção devida aos animais é muito baixa, pois numa pastagem de braquiária de alta produção com 2 a 4 cabeças por hectare, com ganho de peso diário de 1kg por

ha, a exportação anual é de cerca de 9 kg de N, 5 kg de P_2O_5 e 0,84 kg de K_2O por hectare (Monteiro e Werner, 1994).

No Brasil, a adubação da pastagem nativa ou plantada é insignificante gerando índices zootécnicos pífios. Entretanto, os efeitos benéficos da adubação são observados já no primeiro ano após a aplicação, enquanto a reposição das perdas pode melhorar em muito a eficiência da adubação, uma vez que a reciclagem é muito alta em pastagens produtivas e de qualidade.

Balanço de nutrientes

Os balanços para macronutrientes primários (N, P e K), representados pela diferença entre as entradas e saídas encontram-se no Quadro (Cuadro) III-40. Este balanço foi calculado com os dados mais recentes disponíveis, com informações sobre o consumo de fertilizantes (ANDA, 2003) e área plantada e produção das principais culturas brasileiras (IBGE, 2002).

Desse modo, as entradas foram calculadas com base no Quadro (Cuadro) III-38, resultado do produto da área cultivada com as principais culturas e as quantidades dos macronutrientes primários utilizados. Outro aspecto que foi considerado foi a eficiência de utilização dos fertilizantes, os quais segundo dados da literatura (IFA, 1992) são de 60% para o nitrogênio, 30% para o fósforo e de 70% para o potássio. Já as saídas foram calculadas com base no Quadro (Cuadro) III-39 e são o produto da extração de nutrientes por tonelada das principais culturas e sua produção. Portanto o Quadro (Cuadro) III-40, onde é apresentado o balanço, representa a subtração das entradas e saídas de nutrientes por Estados brasileiros.

Observa-se que há um balanço negativo apenas para o nutriente nitrogênio, sendo que para P e K a situação está praticamente equilibrada. Refazendo o cálculo e descontando-se as 2.551 mil toneladas de nitrogênio extraídas pela cultura da soja, que no Brasil é cultivada sem fornecimento deste nutriente, ainda assim teríamos um balanço negativo com um déficit 781 mil toneladas.

O balanço mais adequado seria o do fósforo, que apresenta no Brasil todo o superávit de 525 mil toneladas. Já a situação do potássio está tendendo ao equilíbrio, uma vez que o balanço apesar de positivo apresenta superávit de apenas 91 mil toneladas, sendo que a região Norte e alguns Estados da região Nordeste, apresentam balanço negativo.

Adubações balanceadas e meio ambiente

A prática da adubação é um dos principais fatores para a obtenção de altas produções e qualidade adequada dos produtos agrícolas. A questão reside na possibilidade de se obter altas produtividades com o mínimo de impacto no meio ambiente.

Resultados experimentais têm mostrado que a resposta está no fornecimento balanceado de nutrientes pela adubação como ponto chave para a redução do impacto ambiental dos adubos. Dentre as ferramentas à disposição a análise de solo talvez seja a mais facilmente acessível. Esta técnica permite avaliar a disponibilidade de nutrientes às culturas, e é atualmente a principal prá-

	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
	toneladas		
Brasil	-3.333.062	525.741	91.213
Norte	-68.391	23.544	-26.077
Roraima	-12.614	1.066	-6.503
Acre	-2.756	-851	-1.932
Amazonas	-3.792	-129	-3.390
Roraima	-1.530	-172	-410
Para	-33.473	6.804	-24.297
Amapá	303	2.213	1.592
Tocantins	-14.859	22.228	6.255
Nordeste	-220.153	298.022	44.708
Maranhão	-44.909	48.544	6.534
Piauí	-8.651	13.258	2.730
Ceará	-112.435	-23.214	-43.766
Rio Grande do Norte	-4.404	4.363	-946
Paraíba	-6.473	2.125	-2.738
Pernambuco	-9.574	14.206	-82
Alagoas	-7.465	20.925	6.077
Sergipe	-3.642	2.573	-2.447
Bahia	-107.595	230.187	85.148
Sudeste	-12.584	1.468.341	555.151
Minas Gerais	88.840	748.382	365.829
Espírito Santo	9.643	33.342	16.670
Rio de Janeiro	-5.754	4.777	-2.436
São Paulo	-99.891	697.722	179.494
Sul	-1.007.235	1.545.520	374.632
Paraná	-616.904	731.746	106.622
Santa Catarina	-4.309	241.936	66.525
Rio Grande do Sul	-369.320	545.244	184.257
Centro-Oeste	-1.185.456	2.602.573	366.792
Mato Grosso do Sul	-185.442	270.139	60.246
Mato Grosso	-685.831	777.344	173.024
Goiás	-310.477	521.393	130.306
Distrito Federal	-5.351	19.484	5.400

Quadro (Cuadro) III-40: Balanço de macronutrientes primários na agricultura brasileira.

tica utilizada para a recomendação das doses de corretivos e adubos. Outro fator são as boas práticas de manejo visando o uso eficiente de adubos, as quais incluem a forma de aplicação do adubo e época adequada de fornecimento.

Como já foi mostrado, uso de adubos minerais (fertilizantes químicos) e orgânicos (adubação verde de inverno e verão e esterco) no país é ainda baixa, por isso ainda não causam problemas ao ambiente (contaminação de águas subterrâneas, por exemplo) como os registrados em países como Holanda e Alemanha. Os itens a seguir servem para destacar como o manejo integrado de nutrientes deve nortear a estratégia de adubação das culturas na busca do aumento da produtividade como da proteção ao meio ambiente para as gerações futuras (Gruhn et al., 2000).

Fatores que interferem na eficiência do uso de nutrientes

Inicialmente a fertilidade do solo atendia às necessidades de produção na agricultura. Os esforços e conhecimentos eram basicamente dirigidos para os fatores que influenciam a disponibili-

dade dos elementos essenciais no solo, métodos de análise de solo e tecidos vegetais para avaliação dos teores destes elementos, as interações entre os nutrientes e o solo, ciclagem de nutrientes, métodos de aplicação de fertilizantes, e o desenvolvimento de técnicas de manejo de solo para otimização e o uso eficiente de nutrientes. Várias técnicas têm surgido nas últimas décadas com potencial para alterar significativamente o manejo da fertilidade do solo (Sims, 2000). O entendimento mais profundo sobre os processos de difusão e fluxo de massa dos nutrientes na rizosfera foram obtidos nas décadas de 70 e 80 (Barber, 1984). No entanto, atualmente sabe-se que cada planta tem uma influência diferenciada no ambiente radicular, indicando a necessidade dos novos estudos sobre as interações do sistema solo-planta. A disponibilidade de nutrientes para as plantas é controlada por um complexo conjunto de fatores ligados às características dos vegetais e às condições do solo. Estes fatores foram listados por Baligar et al. (1990) e são apresentados no Quadro (Cuadro) III-41.

Fatores da Planta	
Efeitos ambientais	Fisiológicos
Intensidade e qualidade da luz	Estado nutricional
Temperatura e umidade	Idade e taxa de crescimento
Efeitos do pH do solo	Relação raiz/parte aérea
Geometria da raiz e pelos radiculares	Taxa de absorção de água
Número e comprimento	Taxa de influxo de nutriente
Taxa de crescimento	Taxa de transporte de nutriente
Raio da raiz	Distribuição do nutriente na planta
Rizosfera	Eficiência de utilização
Solubilidade do nutriente	Baixa necessidade funcional do nutriente
Exudados	
Associação microbiana	
Fatores do Solo	
Solução do solo	Difusão e Fluxo de massa
Equilíbrio iônico	Umidade do solo
Solubilidade, precipitação	Tortuosidade
Ions competitivos	Propriedades iônicas
Ions orgânicos	Concentrações iônicas
pH	Outros fatores
Umidade e temperatura	Propriedades físico-químicas do solo

Quadro (Cuadro) III-41: Mecanismos e processos que contribuem para o uso eficiente de nutriente nas plantas.
Fonte: Baligar et al. (1990)

Práticas visando o uso eficiente

Na busca pela otimização da utilização de insumos é necessário que inicialmente se alcance o aperfeiçoamento da eficiência na utilização desses insumos. Por isso, a seguir são apresentados sucintamente aspectos que devem ser considerados para a otimização do uso destes insumos.

Uso de genótipos mais eficientes

O emprego de cultivares eficientes na absorção e utilização de nutrientes é uma importante estratégia para a redução de custo da produção agrícola, por permitir menor uso de fertilizantes e corretivos na agricultura. A literatura indica que existe grande diferença entre os cultivares quanto à capacidade de absorção e utilização de nutrientes. Essas diferenças entre cultivares podem ser relacionadas ao processo fisiológico da planta ou às mudanças favoráveis para o cultivar na rizosfera (Fageria, 1992).

Calagem e gessagem

As raízes das plantas não se desenvolvem adequadamente em solos muito ácidos, contendo excesso de alumínio trocável ou teores muito baixos de cálcio. A origem da acidez pode ser decorrente da rocha de origem, remoção das bases (Ca, Mg, K), decomposição da matéria orgânica e absorção de nutrientes pelas plantas. A prática agrícola pode aumentar a acidificação através da aplicação de fertilizantes, especialmente os nitrogenados na forma amoniacal (sulfato de amônio). A calagem possibilita a correção da acidez nos solos, porém para que os resultados sejam adequados, aspectos como a qualidade do calcário, dose, época, e modo de aplicação desse insumo devem ser considerados. Outros efeitos benéficos são o aumento da disponibilidade dos nutrientes (principalmente fósforo e molibdênio), aumento do volume de solo explorado pelas raízes, aumento da capacidade de troca de cátions, diminuição da fixação do fósforo, diminuição dos teores excessivos de alumínio tóxico e de manganês, favorecimento da fixação simbiótica do nitrogênio, e melhoria das propriedades físicas e biológicas do solo.

Os efeitos da calagem podem ficar restritos à camada arável ou superficial do solo e, o subsolo permanecendo ácido impossibilita o desenvolvimento do sistema radicular e limita a absorção de água e nutrientes, principalmente em períodos curtos de seca, como nos veranicos. Existem vários resultados mostrando que a correção da acidez das camadas profundas favorece a produção das culturas, e essa correção pode ocorrer com a prática da gessagem (Raj, 1988).

Fertilizantes nitrogenados

Nos principais adubos nitrogenados comercializados no Brasil, o nitrogênio está presente nas formas amídica, nítrica e amoniacal, sendo todas solúveis em água. Quando aplicadas no solo, em curto período de tempo, a maior parte do N amídico ou amoniacal sofre oxidação e passa para a forma nítrica. Esta é a forma predominantemente absorvida pelas plantas, no entanto, pouco retida no complexo de troca do solo, e sujeita a perdas por lixiviação. A eficiência da adubação nitrogenada é aumentada por meio de diversas práticas como: emprego de formas com disponibilidade controlada, parcelamento das doses recomendadas, localização adequada em relação às plantas e sementes, e calagem. Outra fonte de perda de N é através da volatilização de amônia e pode ocorrer em solos com pH acima de 7 quando os adubos contendo o N amoniacal aplicados na superfície. A uréia, aplicada em superfície está sujeita a perdas por volatilização, mesmo em solos ácidos. Estas perdas são potencializadas se a uréia for aplicada na superfície de solos úmidos, ou sobre resíduos de plantas, como no caso do plantio direto. Em solos de várzea, que

permanecem inundados, não se deve utilizar adubos com N na forma nítrica, pois as condições redutoras do solo provocam rápida desnitrificação e formação de N_2 e N_2O (FAO, 1998; Isherwood 1998; Johnston, 2000).

Fertilizante fosfatados

O fósforo é o nutriente que mais limita a produtividade na maioria dos solos tropicais. Com a prática das adubações os teores no solo tendem a se elevar, devido ao efeito residual. Considerando-se que os fosfatos são recursos naturais não renováveis, é imperioso utilizá-los de forma eficiente. Para que as culturas utilizem o fósforo aplicado é necessário que ocorra uma reação entre o fosfato e o solo, por isso a disponibilidade deste nutriente depende do equilíbrio e dinâmica no solo. A fração argila dos solos da região tropical é constituída predominantemente por caulinita e óxidos de Fe e Al, ou seja minerais de carga variável, e que possuem um alto poder de fixação do fosfato. Como consequência, a maior parte do P aplicado em solos argilosos é adsorvida de forma não-trocável, com poucas chances de retornar à solução do solo e de ser aproveitada pelas plantas. Desse modo, uma opção para melhorar a recuperação do fosfato aplicado via fertilizantes é diminuir, antes de sua aplicação, a capacidade do solo em fixar o íon-fosfato. Os fatores que afetam a disponibilidade deste nutriente no solo são as quantidades adicionadas, o tempo e o volume de contato do fertilizante com o solo, o tipo e a quantidade de minerais presentes no solo, e o pH do solo. Por isso, a observação e controle destes fatores podem, efetivamente, reduzir a adsorção do fosfato aplicado. Assim, as práticas essenciais no manejo da adubação fosfatada e na economia deste nutriente são: análise de solo e recomendação de doses adequadas, melhoria do volume de solo explorado pelas raízes, através da calagem, e redução do contato do fosfato com o solo através do uso de adubos na forma granulada, e a incorporação de forma localizada nos sulcos ou covas de plantio (FAO, 1998; Isherwood 1998; Novais e Smyth, 1999; Johnston, 2000).

Fertilizantes potássicos

A adubação potássica nos solos tropicais é de grande importância, em função da grande extração pela maioria das culturas, associada às baixas reservas do nutriente nestes solos muito intemperizados. Portanto, a sua restituição às plantas deve ser feita através da adubação potássica. O suprimento de potássio às plantas varia em função da forma em que se encontra no solo, da sua quantidade e do seu grau de disponibilidade nas diferentes formas, além dos fatores que interferem no deslocamento do nutriente na solução do solo até as raízes. O manejo da adubação, com relação às doses e modos de aplicação (sulcos, a lanço e parcelada) deve ser considerado, devido ao alto potencial de perdas por lixiviação que alguns solos podem apresentar. A aplicação de plantio normalmente é recomendada para ser realizada no sulco, porém também possa ser feita a lanço, antes do plantio, sendo que em solos com baixa fertilidade, aplicação no sulco pode ser mais viável economicamente. No entanto, a aplicação de altas doses de potássio no sulco de plantio deve ser evitada devido ao efeito salino pelo aumento do potencial osmótico e, em alguns casos, para diminuir as perdas por lixiviação, principalmente nos solos arenosos, com baixa capacidade de troca. Por isso, as doses elevadas devem ser reduzidas no plantio, e o restante da aplicação pode ser feita em cobertura e a lanço, no período de maior exigência da cultura. Outro aspecto que deve ser considerado é o de que a adubação tardia em cobertura a

lanço em solos argilosos pode não ser eficiente (FAO, 1998; Isherwood 1998; Johnston, 2000).

Fertilizantes com micronutrientes

Os micronutrientes desempenham papéis importantes no metabolismo vegetal, seja como constituintes de compostos ou como reguladores do funcionamento de sistemas enzimáticos. O suprimento adequado destes elementos é importante, para se evitarem diminuição da produção agrícola. No entanto, tem se observado no Brasil, um aumento da deficiência de micronutrientes. Isso tem ocorrido devido ao aumento de produtividade das culturas, à incorporação de solos de baixa fertilidade ao processo produtivo, ao uso crescente de calcário e adubos fosfatados, à incorporação inadequada de corretivos, e ao cultivo de variedades com alto potencial de produção e alta demanda por micronutrientes. As quantidades destes nutrientes requeridos pelas plantas são muito pequenas, quando comparadas aos macronutrientes. As aplicações em excesso podem ser mais prejudiciais às plantas que a própria deficiência. Existem ainda grandes diferenças de comportamento de espécies vegetais, e até mesmo variedades, dentro das mesmas espécies, com relação às exigências de micronutrientes. As formas de fornecimento dos micronutrientes podem ser através da aplicação no solo (no sulco ou covas, ou na superfície em culturas perenes), da adubação foliar, da fertirrigação ou das sementes. Nas aplicações localizadas as formas solúveis em água são mais prontamente disponíveis, já as fontes insolúveis devem ser utilizadas em área total (Lopes, 1999).

Alternativas aos fertilizantes minerais

Visando a redução ou substituição dos fertilizantes comerciais utilizados, existem diversos sistemas alternativos, os quais utilizam novas técnicas e conceitos de manejo de solo e da fertilidade. Estas incluem o uso de espécies leguminosas como adubo verde, rotação de culturas, uso de adubos orgânicos, e o uso de resíduos urbanos, industriais e agrícolas. Algumas destas alternativas são destacadas a seguir.

Adubação orgânica

O principal efeito que se deseja com a adubação orgânica é a melhoria das propriedades físicas e biológicas do solo. Com sua utilização observa-se melhoria na porosidade do solo, retenção de umidade do solo e, menor temperatura do solo (com cobertura morta na superfície ou 'mulch'). Estes produtos podem também ser utilizados como fontes de nutrientes, levando-se em conta que possuem-nos em teores mais baixos e desbalanceados, necessitando, muitas vezes, de complementação com fertilizantes minerais. Alguns nutrientes, presentes nos adubos orgânicos, principalmente nitrogênio e fósforo, sofrem um processo de disponibilização mais lenta que os adubos minerais, no entanto este efeito é mais prolongado. De modo geral pode-se considerar que no 1º ano de aplicação 50% do N, 70% do P_2O_5 e 100% do K.O serão disponibilizados. Um aspecto importante que deve ser observado é o processo de cura (fermentação), o qual é essencial para a utilização de esterco e compostos. O objetivo é a obtenção de um produto homogêneo, estruturado, sem os odores desagradáveis característicos, isento de sementes viáveis de plantas da-

ninhas, pragas e patógenos causadores de doenças. Além disso este processo auxilia na obtenção de produtos com uma relação C/N ideal, boa mineralização dos compostos orgânicos e conseqüente liberação dos nutrientes através da mineralização (Ribeiro et al., 1999).

Comparações diretas entre adubo orgânico e mineral não são convenientes e gera mais polêmica que esclarecimento, pois os adubos orgânicos têm efeito de amplo espectro nas propriedades do solo, ou seja, efeitos físicos e biológicos, além do químico, sem considerar a diversidade de fontes e composições, modo, época e quantidade de aplicação e os efeitos específicos da matéria orgânica no solo. O maior interesse atual talvez esteja em estudos do uso associado destas 2 fontes de nutrientes (Sanchez, 1997).

Um aspecto muito importante na adubação orgânica é a escolha do adubo. O melhor adubo orgânico é aquele que atenda às necessidades do solo e da planta cultivada. Este deve ser obtido em quantidades compatíveis com a área cultivada e a um custo compatível com a capacidade do agricultor e também com o benefício que ele irá trazer a longo prazo. É sempre importante consultar um agrônomo para auxiliar na escolha do adubo orgânico, pois é preciso saber das exigências da cultura, analisar o solo, analisar o adubo orgânico existente na região, verificar sua origem (adubos oriundos de resíduos industriais podem conter metais pesados em excesso como zinco e cádmio, que podem causar problemas à saúde pública) e verificar se ele atende às necessidades.

Fixação biológica do N₂ e associações com fungos micorrízicos

A substituição da parte de N mineral aplicado como adubo, pela fixação biológica do N₂ é uma opção para que se possa reduzir os custos de produção, através da redução da utilização deste insumo. A fixação biológica do N₂ é o processo pelo qual os organismos vivos conseguem aproveitar o N do ar, incorporando-o à biosfera. Em termos de importância agrícola, o principal sistema de fixação biológica do N₂ é a simbiose rizóbio-leguminosa. Na cultura da soja tem-se verificado os maiores sucessos e avanços na utilização desta simbiose, sendo que atualmente a principal fonte desse nutriente é a fixação biológica do N₂. Esse processo supre totalmente as necessidades de N da planta, sendo inclusive desnecessárias as pequenas doses utilizadas nos plantios (Vargas e Suhett, 1982; Hungria et al., 1997). Entretanto, é necessário que a soja esteja bem nodulada e, para isso, as condições de solo mais apropriadas ao processo devem ser observadas, assim como a adequada inoculação das sementes (nos primeiros anos de cultivo).

A associação simbiótica de fungos micorrízicos com raízes de certas plantas é um fenômeno muito conhecido, no qual as hifas desses fungos se constituem em uma extensão do sistema radicular das plantas. Isso resulta em maior superfície para absorção de nutrientes, principalmente aqueles que se movimentam no solo por difusão, por exemplo, P e Zn. A grande maioria das plantas que nodulam e fixam nitrogênio atmosférico, formam associações micorrízicas. Isto é de grande importância ecológica e agronômica, pois a nodulação e a fixação biológica de nitrogênio (FBN) dependem de um adequado balanço nutricional na planta hospedeira, especialmente do fósforo. Uma vez que plantas micorrizadas absorvem maiores quantidades de P do solo, a micorrização pode beneficiar o processo de FBN, e as plantas nodulada e micorrizadas estarão melhor adaptadas para enfrentar as situações de deficiências nutricionais existentes nos solos tropicais (Lopes e Siqueira, 1981).

A natureza dos efeitos do P na simbiose leguminosa-rizóbio-MVA não é bem entendida, mas evidências indicam que o efeito benéfico das MVA sobre FBN é conseqüente ao melhor estado nutricional da planta micorrizada (Bethlenfalvay e Yoder, 1981), pois a atividade da nitrogenase é dependente de ATP e fonte redutora, que são processos que possuem elevado requerimento de P.

Adubos verdes

Além de contribuir com a matéria orgânica do solo, as leguminosas utilizadas como adubos verdes poderiam ainda auxiliar no controle da erosão e propiciar reciclagem às camadas superficiais do solo de alguns nutrientes que são perdidos por lixiviação. Além da reciclagem estas espécies poderiam funcionar como fontes de nutrientes pouco disponíveis no solo como P e Mo. Há ainda evidências de que a mucuna e a Crotalaria juncea podem não apenas controlar os nematóides como também algumas plantas daninhas (Alvarenga et al., 1995). A grande vantagem da adubação é a possibilidade de ser conduzido em grandes áreas a um custo muito mais baixo que a adubação orgânica convencional.

Uso de resíduos

O uso de resíduos orgânicos de diferentes origens deve ser incentivado pelo fato de que, quando isso não acontece aumentam-se as chances de o meio ambiente ser prejudicado. Isso ocorre, por exemplo com o lodo de esgoto que é uma fonte de matéria orgânica e nutrientes, principalmente fósforo. Na maioria dos casos, o destino que se dá ao lodo no Brasil não é o agrícola, sendo comum o descarte desse insumo em rios e córregos, que se tornam altamente poluídos e desprovidos de peixes e outros organismos.

A aplicação de compostos de lixo urbano em solos cultivados proporciona aumentos na fitodisponibilidade de P, K, Ca e Mg, elevação do pH, da CTC e redução da acidez potencial do solo. Entretanto, é comum encontrar na composição de compostos de lixo metais pesados, cujas concentrações variam conforme as regiões onde são gerados. Dessa forma, a utilização agronômica desses resíduos, por anos sucessivos, traz preocupações quanto ao acúmulo desses elementos no solo e à possibilidade de sua absorção pelas plantas cultivadas. Os metais pesados, em solos tratados com compostos orgânicos de lodo de esgoto e lixo urbano, são mantidos em formas que não estão prontamente disponíveis às plantas, demonstrando que a capacidade de adsorção específica dos metais provenientes dos resíduos irá persistir pelo tempo que esses elementos persistirem no solo (Hoitnik e Keener, 1993).

Uso de rochas trituradas

Ultimamente vem crescendo o interesse pelo uso de rochas trituradas ou moídas como adubos fertilizantes para as culturas. A justificativa reside na combinação entre fatores químicos dos solos tropicais e econômicos. No Brasil, há uma vasta fonte de rochas ricas em potássio, fósforo, magnésio e cálcio que poderia reduzir a excessiva dependência nas fontes convencionais de adubos. Segundo algumas análises, os teores de fosfato (1.215 a 3038 mg kg⁻¹), cálcio e magnésio (40 a 73 mg kg⁻¹) e potássio (158 a 308 mg kg⁻¹) são adequados para serem utilizados como

adubos de liberação lenta. Como exemplo destas rochas pode-se citar as rochas ígneas como o basalto, andesito, fonolito, anortosito e sienito, assim como as rochas metamórficas ou sedimentares como a marga e o serpentinito. Entretanto, há a necessidade de mais pesquisas para avaliar o desempenho das rochas moídas, misturadas ou não com adubos minerais convencionais e adubos orgânicos, na agricultura tropical em solos ácidos (Leonardos, et al., 2000).

Novas tecnologias para o manejo integrado de nutrientes

Nas últimas décadas algumas tecnologias têm se destacado como sendo propostas de alteração no manejo do solo, e que podem alterar significativamente o uso de fertilizantes. Estas técnicas são o preparo conservacionista (incluindo o plantio direto), os sistemas agroflorestais, e as técnicas de agricultura de precisão.

Plantio Direto

O preparo conservacionista ou plantio direto representa a mais significativa alteração no manejo de solos da história moderna da agricultura. Esta técnica permite que se obtenha a produção agrícola com um mínimo risco de erosão. Foi inicialmente introduzida na América do Norte, e atualmente está sendo largamente utilizada, na América do Sul (especialmente no Brasil), Austrália e em menores extensões na Europa (Bradford and Peterson, 2000). Aproximadamente 37% das terras agricultáveis nos Estados Unidos estão sendo manejadas com sistemas conservacionistas, que incluem o plantio direto e o cultivo mínimo (Lal et al., 1999). O sistema de plantio direto está tomando impulso em várias regiões do Brasil, como já foi apresentado anteriormente, ocupando cerca de 25% das terras com culturas anuais. Neste sistema, as características físicas, químicas e biológicas do solo são afetadas diferencialmente em relação ao plantio convencional, tais como retenção de umidade, oscilação térmica, distribuição do fósforo e matéria orgânica, teor de nitrogênio e distribuição de alguns organismos do solo (Muzzilli, 1983; Wiethölter, 2000; Machado e Silva, 2001).

Sistemas agroflorestais

A utilização dos sistemas agroflorestais tiveram maior destaque a partir da década de 1980. Propõem a combinação de árvores de crescimento rápido com sistemas agrícolas, que incluem também a utilização de pastagem para alimentação animal (Mergen, 1986). Este sistema proporciona uma maior biodiversidade associada com a produção agrícola, além disso proporciona um aumento no sequestro de carbono (Schroeder, 1993).

Agricultura de precisão

As técnicas de agricultura de precisão, ou de manejo de sítios específicos, tem sido utilizadas com sucesso em alguns locais, como uma alternativa economicamente viável para a otimização do uso de nutrientes. Esta técnica se baseia na amostragem intensa das áreas de cultivo e uso

de técnicas de geoestatística e de modelagem. Como propõem a quantificação, processamento e diagnósticos de vários fatores que interferem na produção agrícola, representa atualmente um das alternativas de manejo mais científicas e avançada. A agricultura de precisão pode ser considerada como o início de uma revolução no manejo de recursos naturais baseada na tecnologia de informação. Mas esta técnica também pode ser vista como uma evolução, uma vez que o manejo mais preciso dos solos e das culturas é possível através do uso de informações mais precisas e novas tecnologias. Com o uso destas técnicas a agricultura alcançou um novo patamar, no qual as etapas do processo produtivo são integradas e todo o processo controlado através de tecnologias de aquisição e processamento de informações (Heuvel, 1996; Bouma et al., 1999; Sims, 2000).

A agricultura de precisão, certamente, não está limitada ao uso de tecnologias e equipamentos de ponta pelos produtores de países desenvolvidos. Segundo Machado et al. (2004), o maior desafio está justamente na quantificação e integração das variações espaço-temporais da produtividade das culturas, variáveis essas associadas ao solo e à planta, e condicionadas pelos mais de 54 fatores determinantes do crescimento e desenvolvimento das culturas.

Efeitos benéficos das adubações balanceadas

Aumento da eficiência do uso do solo, nutrientes e água

Culturas nutridas de forma balanceada podem produzir mais com a mesma quantidade de água disponível. Estas plantas serão mais saudáveis e vigorosas, com maior produção de biomassa e, conseqüentemente, com uma melhor cobertura da superfície solo, levando à redução das perdas de solo e de nutriente por lixiviação e escoamento superficial. O processo foi esquematizado por Řesek (1996) da seguinte maneira: melhor condição química > CTC > maior produção de biomassa vegetal > população microbiana > maior decomposição > cargas e subprodutos cimentantes > agregação do solo > maior armazenamento > de água > disponibilidade de nutrientes para as plantas.

Preservação ambiental

Os níveis adequados de nutrientes no solo podem aumentar significativamente o potencial de sequestro de carbono. As culturas mais produtivas tendem a aumentar os níveis de carbono orgânico dos solos e sequestro do CO₂ atmosférico, além de que para sequestrar 10 toneladas de carbono, são necessários 833 kg de nitrogênio, 200 kg de fósforo e 143 kg de enxofre (Himes, 1998; Stewart, 2002).

O uso de adubações balanceadas também pode reduzir o potencial de desflorestamento e preservação ambiental. De acordo com Lopes e Guilherme (1991), mostraram que com a utilização adequada de fertilizantes e corretivos é possível verticalizar a produção agrícola por área (produtividade), evitando dessa forma que haja a necessidade de incorporação de novas áreas para aumentar o volume de produção. Esta redução da área necessária para agricultura, propiciando mais áreas para lazer e preservação ambiental. Um exemplo desta troca é apresentado no Quadro (Cuadro) III-42, adaptada de Sanchez et al. (1990) que avaliam diversas opções de ma-

nejo para Yurimaguas no Peru. Para cada hectare adaptado às tecnologias de manejo do solo visando uma agricultura sustentável, 5 a 10 hectares por ano de florestas tropicais são salvas do cultivo convencional, em função da alta produtividade que pode ser alcançada pelas tecnologias alternativas.

1 ha em opção de manejo sustentável	ha salvos do desflorestamento anualmente
Arroz irrigado	11,0
Pastagens de leguminosas e gramíneas	10,5
Culturas com alto uso de insumos	8,8
Culturas com baixo uso de insumos	4,6

Quadro (Cuadro) III-42: Áreas que podem ser salvas do desflorestamento por várias opções de manejo, estimada para Yurimaguas no Peru.

Chile

Carlos Rojas Walker¹ y Liliana N. Castro²

Introducción

El Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN), inició en 1963 la exploración de yacimientos fosfáticos en Chile comenzando por la Bahía de Tongoy y siguiendo en 1976 con el Proyecto "Fosforitas de Mejillones detectando un primer depósito de importancia en Chile. Posteriormente entre 1982-85, CORFO y la Comisión de Energía Nuclear, estudian el área de Bahía Inglesa, detectando el segundo depósito de importancia. Ambas instituciones desde 1980 exploran el sector de Bahía Salado (27° 38'-27° 54' S y 70° 47'-78° 8' W. (Besoain E., 1989).

Posteriormente, las tres empresas estudian con precisión el Área Puerto Aldea-Tongoy-Pachingo indicándose que ésta área presenta las mejores opciones para detectar nuevos recursos de fosforitas.

La matriz fosfórica de las rocas de Mejillones y Bahía Inglesa es la carbonato fluor apatita. (francolitas) "de origen sedimentario marino con alto grado de sustitución isomórfica de fosfato por carbonato, de allí su buen valor fertilizante. Las rocas de La Serena, en cambio, son clorhidroxiapatitas de origen ígneo metamórfico de más baja solubilidad.

Las rocas de Mejillones y Bahía Inglesa son de alta reactividad y potencial fertilizante, para uso directo, usadas en suelos volcánicos de pH ácido (<6) y alto contenido de materia orgánica.

En este trabajo, se presenta una síntesis de las principales características geológicas, físico- químicas y agronómicas de las rocas fosfóricas chilenas, mediante el apoyo de recientes resultados obtenidos.

Manifestaciones Fosfáticas

Los yacimientos chilenos son de mediana importancia para su explotación. Se reconocen tres tipos de depósitos: (a) Rocas sedimentarias terciarias (fosforitas), (b) Vetas de apatita y (c) Acumulaciones del guano (Salas, 1985).

a) Fosforitas

Las rocas sedimentarias de origen marino (fosforitas) de edad miocena- pliocena se localizan principalmente en tres depósitos: Mejillones, Caldera y Tongoy. Se encuentran desde el Norte en Mejillones (III Región a 23°, 06'S y 70° 27'W). Bahía Inglesa, Bahía Salado, Bahía de Tongoy, Puerto Aldea y Pachingo más al sur (IV Región, a 30° 20' S y 71° 22'W), orientados en una faja alargada entre la III y IV Regiones. Se estiman las reservas totales de fosforita en 3,7 x 108 toneladas métricas con contenidos de 6-17% de P₂O₅. Reservas de mayor ley, 12-30% de P₂O₅, no superan las 3,2 x 106 ton métricas.

¹CRI-La Platina Santa Rosa 11610, Comuna La Pintana Santiago, Chile. crojas@inia.cl

²Departamento de Geología, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, Argentina
lilianacastro@fibertel.com.ar