



IPEF: FILOSOFIA DE TRABALHO DE UMA ELITE DE EMPRESAS FLORESTAIS BRASILEIRAS

ISSN 0100-3453

CIRCULAR TÉCNICA Nº 154

Janeiro/1988

PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DOS SOLOS VS. EXIGÊNCIAS NUTRICIONAIS DE ESPÉCIES FLORESTAIS DE RÁPIDO CRESCIMENTO

José Leonardo de Moraes Gonçalves*

1. INTRODUÇÃO

A maioria dos solos do Brasil são de baixa fertilidade, tendo como uma das principais razões as condições de clima tropical, de elevada pluviosidade e temperaturas altas, agentes aceleradores do “envelhecimento” dos solos. Desde os seus primórdios têm sido relegados à Silvicultura os solos menos férteis e geralmente, de grande susceptibilidade à erosão. Podem ser colocadas como razões, o menor valor econômico de aquisição desses solos, aliado a suposições técnicas de que as essências florestais possuem pequenas exigências nutricionais, bem inferior a das culturas agrícolas, por conseguinte, com bom desenvolvimento em solos pouco férteis. Os conceitos estabelecidos por Ebermayer (1876) citado por OLIVEIRA (1959) SINTETIZAM O PENSAMENTO NA Silvicultura em anos passados: 1º) as exigências alimentares das espécies florestais comparativamente com as agrícolas são pequenas; 2º) os elementos nutritivos estão continuamente em circulação por intermédio da queda das folhas; 3º) a quantidade de nutrientes removidos pelo material lenhoso são negligíveis.

Ao contrário do que se presumia, em estudos recentes, muitos autores (BELLOTE et alii, 1980; CASTRO et alii, 1980; MADGEWICK et alii, 1981; RAISON et alii, 1982; WISE et alii, 1981; entre outros) tem observado que a extração de nutrientes por espécies de rápido crescimento, como o **Eucalyptus** e o **Pinus**, são consideráveis, conforme o caso, equiparando ou mesmo ultrapassando a de muitas culturas agrícolas.

* Engº Agrº – MS em Solos e Nutrição de Plantas.

Considerando a pequena reserva de nutrientes da maioria dos solos e a reposição apenas parcial dos nutrientes extraídos, espera-se um depauperamento contínuo da capacidade suporte desses solos. A este respeito, a interação do genótipo com o ambiente pode proporcionar diferentes efeitos sobre a remoção de nutrientes. Para condições naturais, TURNER et alii (1978) encontraram, para um declínio progressivo do teor de fósforo total do solo de 120 para 50 ppm, a instalação seqüencial de quatro espécies de **Eucalyptus**. Essas espécies possuíam diferentes exigências nutricionais em fósforo, compatíveis com o teor do solo, o que proporcionava, em termos relativos, a manutenção da produtividade do sítio à medida que as espécies se revezavam.

A situação se inverte no caso dos plantios homogêneos onde o depauperamento contínuo do solo em nutrientes reflete queda da produtividade. Extrapolando essas conjeturas para fins práticos é presumível que o monitoramento da fertilidade do solo, de tal modo a permitir a troca da espécie plantada conforme sua exigência nutricional, levaria a uma melhor interação genótipo x ambiente, com menor dipêndio de insumos.

Neste quadro geral, o assunto abordado nos tópicos a seguir são inferências a respeito da utilização do solo para fins florestais, com ênfase na capacidade suporte dos solos e seus desvios em relação a um suposto solo ideal, comparativamente as exigências nutricionais de algumas culturas agrícolas e florestais.

2. CARACTERÍSTICAS DE DIFERENTES SOLOS USADOS PARA FINS FLORESTAIS

Genericamente, os solos mais usados no meio florestal são os Latossolos, as Areias Quartzosas e os Podzólicos, os quais apresentam diferentes graus de limitação em relação a produção florestal.

Para fins conceituais, como se define o grau de limitação de um solo? Melhor dizendo, quais os requisitos para ser um solo ideal?

O solo ideal segundo FRANÇA (1980) seria aquele que reunisse os seguintes requisitos:

- a) profundidade efetiva suficiente para a expansão do sistema radicular das plantas, normalmente atingindo mais de 150 cm;
- b) fertilidade relativamente alta, necessária para a obtenção de boas produções; ou terras possuindo características morfológicas, físicas e químicas que facilitem a correção de eventuais deficiências ou desequilíbrios de nutrientes;
- c) boa capacidade de armazenamento de água em forma disponível às plantas, sem problemas de falta ou excesso;
- d) boa drenagem interna e/ou situação topográfica e característica do perfil que facilitem a remoção de excessos temporários de água, assegurando boa aeração e a não ocorrência de deficiência de oxigênio;
- e) baixa erodibilidade e/ou condições locais (declividade, características morfológicas e propriedades físicas e químicas) que permitam um controle eficiente da erosão;
- f) relevo favorável e ausência de impedimentos permanentes à motomecanização, tendo em conta a crescente importância da mecanização das operações agrícolas;
- g) ambiente possuindo condições hídricas e térmicas adequadas para o crescimento e desenvolvimento das culturas sem maiores problemas quanto à proliferação de ervas daninhas, pragas e doenças de plantas.

Ainda, segundo esse mesmo pesquisador, o solo que mais se aproxima do solo ideal são a Terra Rocha Estruturada eutrófica (com declives suaves) e o Latossolo Rocho eutrófico. Em seguida, em ordem decrescente de desvio do solo ideal: Latossolos distróficos, Podzólico vermelho Amarelo, Areia Quartzosa, Litossolos e Cambissolos e os solos Hidromórficos.

Sumariamente as principais classes de solos podem ser descritas da seguinte forma, ADAMOLI et alii (1986) e FRANÇA (1980):

a) Latossolos

São solos muito profundos, geralmente com mais de 2m, forte e moderadamente drenados e com seqüência de horizontes A, B e C pouco diferenciados. Apresentam avançado estágio de intemperização e são praticamente destituídos de minerais primários facilmente intemperizáveis.

Afastam-se do solo ideal pela baixa fertilidade e pela baixa capacidade de retenção de água disponível as plantas.

b) Terras Roxas

São solos profundos (mais de 200 cm), permeáveis, de textura argilosa em todo o perfil, com incremento de argila no horizonte B. Todos os horizontes apresentam cerosidade e no horizonte C ocorre um decréscimo do teor de argila e a presença de minerais primários semi-alterados.

São solos eutróficos, de boa fertilidade natural. De maneira geral, são os que mais se aproximam do solo ideal.

c) Podzólicos

São solos que apresentam uma diferença textural acentuada entre os horizontes A e B, geralmente profundos a moderadamente profundos.

Afastam-se do solo ideal pelo alto risco de erosão, devido a diferença textural entre horizontes A e B. Apresentam-se com limitações a motomecanização impostas pelos declives acentuados e pelas irregularidades do terreno provocadas pelo processo erosivo.

d) Areias Quartzosas

São solos cuja seqüência de horizontes são A e C, de espessura superior a 2 m, originários de sedimentos areno-quartzosos não consolidados ou de arenitos. O teor de argila é inferior a 15% e são virtualmente destituídos de minerais primários decomponíveis.

Apresentam fertilidade baixa, pequena capacidade de retenção de água e nutrientes, e alta susceptibilidade a erosão, sendo bastante distante do solo ideal.

e) Litossolos

São solos rasos com horizonte A assentado diretamente sobre a rocha, ou sobre um horizonte C de pequena espessura. Apresentam teores elevados de minerais primários intemperizáveis e blocos de rochas semi-intemperizados.

Apresentam como limitações sua reduzida profundidade efetiva, declives acentuados e presença de pedras, tanto na superfície como na massa do solo.

f) Cambissolos

Compreendem os solos com horizonte B incipiente ou câmbico. Esta classe apresenta estágio intermediário de formação comparada com os solos com B textural ou latossólico. O teor de argila é superior a 15% e mais de 20% da fração silte na composição granulométrica.

Suas limitações são semelhantes as dos Litossolos.

g) Solos Hidromórficos

São solos pouco desenvolvidos, situados em terrenos planos, nas várzeas dos rios ou depressões, formados a partir de sedimentos aluviais. A presença do lençol freático próximo à superfície, durante a maior parte do ano, condiciona a formação de um horizonte A escuro, com alta concentração de matéria orgânica, parcial ou totalmente decomposta repousando sobre camadas minerais. A maior parte desses solos são distróficos e álicos.

Apresentam limitações quanto ao excesso de água (deficiência de oxigênio) e impedimentos a motomecanização, a menos que tais limitações seja atenuadas mediante a instalação e manutenção de sistema de drenagem artificial.

3. DISPONIBILIDADE DE NUTRIENTES EM ALGUNS SOLOS UTILIZADOS PARA REFLORESTAMENTO

Com ilustração apresentam-se no quadro 1 as características físicas e químicas de perfis representativos de algumas classes de solos (C.N.E.P.A., 1960).

Quadro 1 – Características físicas e químicas de um solo muito fértil (Terra Rocha Estruturada) e de outros quatro solos comumente utilizados para reflorestamento.

Tipos de solo	Horizonte	Granulometria (%)			pH água	M.O. (%)	Ca	Mg	K	H+Al	P ₂ O ₅ total (ppm)	S	CTC	V (%)	Umidade Equivalente (%)
		areia	silte	argila											
Terra Roxa Estruturada	A	32,5	13,6	53,9	6,1	3,15	8,76	2,73	1,35	3,50	0,45	12,91	16,41	78,7	26,7
	B	17,9	11,4	70,7	5,3	0,79	5,06	1,49	0,22	3,47	0,33	6,84	10,31	66,3	31,7
Latossolo Vermelho Escuro	A	85,8	1,0	13,2	4,3	0,72	0,17	0,17	0,04	1,63	0,03	0,40	2,03	19,7	7,2
	B	81,7	0,6	17,7	4,6	0,34	0,27	0,12	0,01	0,47	0,02	0,42	0,89	47,2	9,5
Latossolo Vermelho Amarelo	A	63,0	5,5	31,5	4,5	1,66	0,27	0,10	0,04	3,45	0,05	0,43	3,88	11,1	14,1
	B	55,1	4,6	40,3	5,3	0,62	0,25	0,08	0,03	0,56	0,05	0,40	0,96	41,7	16,8
Podzólico Vermelho Amarelo	A	82,0	4,8	13,2	4,1	2,32	0,84	0,28	0,11	5,88	0,03	1,31	7,19	18,2	13,0
	B	58,1	4,1	37,8	4,6	0,79	0,56	0,27	0,05	6,58	0,04	0,93	7,51	12,4	21,7
Areia Quartzosa	A	98,0	0,2	1,8	4,6	0,56	0,34	---	0,02	1,61	0,01	0,38	1,99	19,1	2,38
	B	97,6	0,6	1,8	5,3	0,09	0,26	---	0,01	0,60	0,01	0,28	0,88	31,8	1,92

FONTE: C.N.E.P.A., 1960.

Enfaticamente:

S – Soma de Bases = $Ca^{+2} + Mg^{+2} + K^{+}$;

CTC – Capacidade de Troca Catiônica = $Ca^{+2} + Mg^{+2} + K^{+} + H^{+} + Al^{+3}$

V – Porcentagem de Saturação de Bases = $\frac{Ca^{+2} + Mg^{+2} + K^{+}}{Ca^{+2} + Mg^{+2} + K^{+} + H^{+} + Al^{+3}} \times 100$ e;

EU – Umidade Equivalente: é a água retirada de uma amostra de solo sob uma força centrífuga correspondente a 1.000 vezes a força da gravidade. Pode ser considerada como uma aproximação da capacidade de campo.

Dentre os solos apresentados a Terra Rocha Estruturada (TE) e a Areia Quartzosa (AQ) são extremos quanto as suas características. Enquanto o teor de argila na TE é maior do que 59%, na AQ o teor de argila não alcança 2%, o que tem implicações na capacidade de retenção de água e nutrientes desses solos. O teor de silte, que reflete a presença de minerais primários intemperizáveis, está em torno de 13% na TE e 0,2% na AQ. É interessante observar a grande superioridade da TE com relação aos teores de M.O., Ca, Mg e K, o que tem influência direta sobre o pH do solo, a C.T.C. e V.

Com relação ao teor de M.O., observa-se a existência de uma relação direta entre o teor dessa e o teor de argila dos solos, isto porque, a argila funciona como agente estabilizante da M.O., reduzindo sua velocidade de mineralização (SÁNCHEZ, 1981). Para o fósforo na TE o P₂O₅ total foi igual a 0,45% e na AQ igual a 0,01%, ou seja, 45 vezes menor, conseqüentemente, com sérias implicações sobre a nutrição das plantas.

Para efeito comparativo – desconsiderando alguns pormenores teóricos – a quantidade de nutrientes até 1,5 m de profundidade, baseada nos dados apresentados no Quadro 1, é:

Quadro 2 – Quantidade de nutrientes e água disponível até a profundidade de 1,5 m, segundo os dados dos perfis apresentados no quadro 1.

Solo	N	P ⁽¹⁾	K	Ca	Mg	S ⁽²⁾	Água disponível (mm) ⁽³⁾
			Kg/ha				
Terra Rocha Estruturada	16.336	1.554	2.2682	22.022	3.929	1.634	162
Latosolo Vermelho Escuro	8.108	119	298	1.078	521	811	92
Latosolo Vermelho Amarelo	11.701	226	254	1.051	261	1.170	108
Podzólico Vermelho Amarelo	9.836	161	651	2.369	683	984	133
Areia Quartzosa	2.972	55	106	744	297	297	21

(1) Foi considerado como fósforo lábil 5% do fósforo total (GOEDERT et alii, 1986). (2) O teor de Enxofre no Solo foi determinado em função da relação N/S = 10 (MALAVOLTA & KUIEMANN, 1985). (3) Segundo metodologia proposta por KIEHL (1979).

Observa-se que as quantidades de N, P, K, Ca, Mg, S e Água Disponível são 5,5; 28,3; 25,3; 29,6; 13,2; 5,5 e 7,7 vezes maior na TE comparativamente a AQ, respectivamente.

O quadro 3 fornece níveis e a classificação de água disponível do solo (adaptado de RANZANI, 1971), sendo auto-interpretativo com relação aos dados de água disponível apresentados no quadro 2.

Quadro 3 – Níveis e classificação de água disponível do solo até 150 cm de profundidade.

Camada de água (mm) em 150 cm de camada de solo	Classificação
Abaixo de 75	muito baixa
76 – 150	baixa
151 – 240	moderada
241 – 300	alta
acima de 301	muito alta

Conclusivamente, pode-se observar que as características físicas e químicas variam significativamente entre os solos. É importante ressaltar que estas diferenças são maiores

entre as classes de solos, do que de variações numa mesma classe, Enfim, o âmbito da ciência do solo o agrupamento do solo em classes, conforme suas características e propriedades, tem efeito especial como instrumento para a predição da produção. Ao proceder a classificação pedológica dos solos mediante um Levantamento de Solos, os solos são agrupados a partir de uma quantidade muito grande de propriedades e características em comum, na maior parte dos casos tendo por base aquelas que refletem processos genéticos similares (LEPSCH, 1983). A partir de uma **Classificação pedológica** pode-se fazer uma **Classificação técnica**, em função de determinadas características de interesse prático e específico.

4. EXIGÊNCIAS NUTRICIONAIS DAS FLORESTAS

Quatro fatores maiores influem na capacidade das plantas utilizarem os nutrientes dos solos e responderem à adubação: a) necessidades totais de nutrientes; b) velocidade de crescimento; c) eficiência de utilização dos nutrientes nos processos metabólicos e d) capacidade de absorção dos nutrientes dos solos.

Nos itens que se seguem são discutidos estes fatores, com enfoque especial para as espécies de pinheiro e eucalipto, consideradas de rápido crescimento e amplamente utilizadas nos projetos de reflorestamento.

a) Necessidades totais de nutrientes

Grandes diferenças em necessidades totais de nutrientes são mais freqüentes entre espécies do que entre variações genótípicas de uma espécie. A razão principal está na maior diferença de produção de material vegetal entre as espécies (VOLKWEISS, 1986).

Para efeito de comparação apresenta-se no Quadro 4 os rendimentos médios do Brasil de algumas culturas agrícolas, bem como as quantidades de macronutrientes exportadas – por ocasião da colheita do produto final – e aplicados via fertilização (MALAVOLTA, 1987); e no Quadro 5 alguns rendimentos encontrados para espécies de eucalipto e pinheiro, além das quantidades médias de nutrientes imobilizadas pelo tornco e por ano, para essas espécies.

Quadro 4 – Rendimento médio de algumas culturas, quantidade de macronutrientes exportados pela colheita e aplicada via fertilização mineral (1).

Cultura	Rendimento médio	N		P		K		Ca(2)		Mg(2)		S	
		Extr.	Aplic.										
-----Kg/ha/ano-----													
Arroz (grãos)	1.684	42,1	40	6,7	26	18,5	33	3,4	129	1,7	54	5,1	10
Milho (grãos)	1.735	83,3	65	15,6	35	69,4	50	10,4	129	13,9	54	12,1	15
Feijão (grãos)	492	50,2	40	4,3	35	45,8	33	26,6	129	8,9	54	12,3	10
Laranjeira (frutos)	16.67	33,4	60	3,3	17	25,0	66	8,3	129	2,7	54	2,3	10
Batata (tubérculos)	12.594	75,6	160	18,9	130	125,9	124	25,2	129	12,6	54	12,6	15

(1) Segundo MALAVOLTA (1987);

(2) Considerando uma aplicação de 3 toneladas de calcário dolomítico com 30% de CaO e 15% de MgO e efeito residual de 5 anos.

Quadro 5 – Produção de matéria seca pelo tronco (lenho + casca) por espécies de **Eucalyptus** e **Pinus** sob diferentes densidades e anos de plantio; e conteúdo de nutrientes no tronco.

Espécie	Densidade árv./ha	Idade (anos)	Produção de matéria seca (tronco)	Imobilização de nutrientes pelo tronco					Fonte
				N	P	K	Ca	Mg	
				-----kg/ha/ano-----					
E. grandis	1.667	3,5	9.860	29,1	0,3	2,8	9,0	2,0	REZENDE et alii (1983)
E. grandis	5.000	3,5	19.891	48,8	0,6	3,9	12,6	2,7	REZENDE et alii (1983)
E. grandis (d=0,5)*	1.500	7,0	25.357	55,7	4,4	38,0	82,9	18,3	BELLOTE et alii (1980)
E. grandis	1.111	10,0	18.360	19,6	1,0	16,8	33,6	10,0	SILVA (1983)
E. saligna	1.111	10,0	18.420	26,0	1,4	17,3	42,0	9,7	SILVA (1983)
E. saligna	452	11,0	15.273	12,5	3,9	11,0	50,1	4,2	POGGIANI (1985)
E. saligna	1.667	3,5	11.549	32,1	0,5	3,3	10,6	2,7	REZENDE et alii (1983)
E. saligna	5.000	3,5	16.703	33,3	0,5	4,9	12,3	2,8	REZENDE et alii (1983)
P. caribaea var. hondurensis	990	14,0	9.479	12,9	0,6	6,8	5,0	1,6	POGGIANI (1985)
P. caribaea var. hondurensis	2.000	10,0	10.990	17,1	1,0	5,3	6,6	1,9	DRUMOND (1985)
P. oocarpa	2.313	8,0	10.750	17,5	1,4	10,2	6,9	1,9	CASTRO et alii (1980)

* Estimou-se a produção de matéria seca considerando a densidade da madeira igual a 0,5.

Com referência as condições apresentadas, observa-se entre as culturas (Quadros 4 e 5) uma grande variação na imobilização de nutrientes. No Cômputo geral, comparando as culturas agrícolas com as florestais, observa-se que, em alguns casos, as culturas florestais imobilizam quantidades de nutrientes maiores do que as culturas agrícolas. Quando não, as diferenças não são substancialmente grandes, de tal modo que pudessem sustentar os conceitos estabelecidos por Ebermayer (1876) citado por OLIVEIRA (1955), apresentados no item 1. Com relação ao eucalipto e para os nutrientes cálcio e magnésio, verifica-se que as exportações desses nutrientes são muito elevadas, momentaneamente a contra-senso da não utilização da calagem para essa cultura. A este respeito, NOVAIS et alii (1985) menciona que a prática da calagem para o eucalipto deve ser recomendada não para a correção da acidez – Al trocável – propriamente dita, mas para suprir em Ca e Mg à planta, naqueles solos em que a disponibilidade desses nutrientes não for suficiente, ou então, quando nenhuma fonte desses nutrientes for utilizada na fertilização.

Sinteticamente, com relação aos dados apresentados no Quadro 5 e a outras informações presentes na literatura, pode-se tirar algumas conclusões:

- Aos 3,5 anos de idade, a produção de matéria seca pelo tronco foi mais elevada nas maiores densidades de plantio para o **E. grandis** e o **E. saligna** (REZENDE et alii, 1983).

Ainda sobre o mesmo trabalho, quando a densidade de plantio passou de 1.667 para 5.000 árvores/ha o ganho em peso de matéria seca pelo tronco foi de 102% para o **E. grandis** e de 44% para o **E. saligna**, o que indica ser a primeira espécie mais indicada para plantios em menores espaçamentos. A respeito da quantidade total de nutrientes imobilizada no tronco verifica-se que o **E. saligna** imobilizou maiores quantidades do que o **E. grandis**;

- É relevante, para a maioria dos nutrientes, uma grande superioridade das espécies de eucalipto comparativamente as de pinheiro, com relação a imobilização de nutrientes, o

que explica, a priori, o bom desenvolvimento dessas espécies em solos pouco férteis, melhor do que o eucalipto.

Ainda pelos dados do Quadro 4, observa-se que a exportação de nutrientes via colheita das culturas agrícolas são, para a maioria dos casos, semelhantes ou superiores as quantidades aplicadas via fertilização mineral. No tocante as culturas florestais a situação altera-se substancialmente.

Assim, para efeito de comparação, BARROS et alii (1986) recomenda a seguinte fertilização mineral para cada ciclo de cultivo do eucalipto (espaçamento 3 x 2 m) e solos pouco férteis: 50, 22, 33, 20, 1 e 1,2 kg/ha de N, P, K, S, Zn e B, respectivamente, além de 750 kg de fosfato natural/ha, o qual deve fornecer cerca de 5 kg de P/ha/ano, considerando o fosfato natural com 35% de P_2O_5 e liberando 4% de P_2O_5 solúvel em ácido cítrico por ano. No balanço geral, confrontando os dados de imobilização de nutrientes pelo tronco (Quadro 5) com os dados de quantidade de nutrientes no solo (Quadro 2) e os aplicados via fertilização mineral (BARROS et alii, 1986), constata-se que o processo de exaustão de nutrientes do solo pelo eucalipto e pinheiro, principalmente para os nutrientes cálcio, potássio e fósforo deve ser um processo rápido, aparentemente, para poucos ciclos de cultivo. Os baixos índices de produtividade e as respostas a esses nutrientes via fertilização observados na prática (MELLO et alii, 1961; MELLO et alii, 1970; BARROS et alii, 1981; NOVAIS et alii, 1985) vêm confirmar estas previsões.

A situação pouco se altera quando considera-se a entrada de nutrientes no sistema pela água das chuvas – sem considerar a saída de nutrientes pela enxurrada e lixiviação: 1, 3, 12, 6 e 1 kg/ha/ano, de P, K, S, Ca e Mg, respectivamente, segundo dados relativos as município de Pirassununga-SP (COUTINHO, 1979). Com relação ao N, VERDADE & KUPPER (1975) observaram, em média, para o município de Campinas-SP uma entrada de N devido a chuva da ordem de 6,5 kg/ha/ano. LIMA (1987) e HAAG (1985) apresnetam dados de outras regiões.

Com relação a fertilização de N, K e P é importante frisar que os processos de lixiviação e fixação reduzem substancialmente a disponibilidade desses nutrientes. Tem sido estimado um aproveitamento de N e K aplicados via fertilizantes da ordem de 40-60% e 30-40%, respectivamente. Para o P a fixação pode disponibilizar conforme o solo, até 90% do fósforo aplicado (GONÇALVES, 1987).

b) Velocidade de Crescimento

As curvas que descrevem a acumulação de nutrientes, como aquela correspondente à produção de matéria fresca ou matéria seca, são sigmóides: uma fase inicial em que as variações são pequenas é acompanhada por outra linear ou quase linear, seguindo-se no fim do ciclo em segmento mais ou menos paralelos ao eixo das abcissas em que aparece o tempo como variável independente. Na fase linear a absorção se dá mais rapidamente (MALAVOLTA, 1984).

As plantas de crescimento lento, especialmente da parte aérea em relação às raízes no início do desenvolvimento, são mais capazes de suprir suas necessidades em nutrientes do que as plantas de crescimento rápido, em solos com baixa disponibilidade de nutrientes. Em condições de alta fertilidade do solo, porém, plantas de crescimento lento sofrem mais a competição de ervas daninhas de crescimento rápido (VOLKWEISS, 1986).

c) Eficiência de utilização dos nutrientes nos processos metabólicos

Uma das formas de expressar a eficiência de utilização dos nutrientes é pela fórmula.

$E = \text{produção} \cdot \text{quantidade absorvida}^{-1} \cdot \text{ciclo}^{-1}$, em que

E = eficiência de utilização;

produção = gramas de produto/planta;

quantidade absorvida = mg do nutriente absorvida/planta;

ciclo = duração do ciclo (dia, mês).

A partir desta fórmula pode-se obter outras formas de expressar a eficiência de utilização dos nutrientes.

Comparações dos aumentos de crescimento produzidos por um dado suprimento de nutrientes, com relação a eficiência de utilização dos nutrientes nos processos metabólicos e com relação a absorção de nutrientes, revelam em muitos trabalhos que os genótipos das plantas variam mais com relação ao primeiro aspecto (CLARKSON, 1985). Paralelamente, a herdabilidade da eficiência de utilização de nutrientes pelas culturas tem sido demonstrada por muitos autores (COLTMAN et alii, 1982; RAMIREZ, 1982).

A eficiência de utilização dos nutrientes pelo tronco (lenho e casca) é variável entre espécies, densidade de plantio, idade das plantas (Quadro 6), entre outras, as características químicas e físicas do solo.

Quadro 6 – Eficiência de utilização de nutrientes pelo tronco por espécies de **Eucalyptus** e **Pinus** sob diferentes densidades e anos de plantio.

Espécies	Dens. árv./ha	Idade (anos)	Eficiência de utilização de nutrientes pelo tronco					Fonte
			N	P	K	Ca	Mg	
			-----g de matéria seca/g de nutriente-----					
E. grandis	1.667	3,5	339,3	28758,3	3557,7	1099,0	4860,6	REZENDE et alii (1983)
E. grandis	5.000	3,5	407,9	34810,0	5081,8	1582,3	7406,4	REZENDE et alii (1983)
E. grandis	1.111	10,0	937,7	18545,5	1094,2	546,8	1854,0	SILVA (1983)
E. saligna	1.111	10,0	707,9	17711,5	1062,9	474,1	1851,3	SILVA (1983)
E. saligna	452	11,0	1220,9	3971,6	1390,7	304,7	3628,5	adaptado de POGGIANI (1985)
E. saligna	1.667	3,5	361,7	21357,9	3559,6	1096,8	4317,0	REZENDE et alii (1983)
E. saligna	5.000	3,5	502,2	34388,2	3438,8	1356,4	5965,3	REZENDE et alii (1983)
P. caribaea var. hondurensis	990	14,0	734,4	14744,4	1401,3	1887,6	6031,8	adaptado de POGGIANI (1985)
P. caribaea var. hondurensis	2.000	10,0	641,0	10881,2	2081,4	1677,9	5877,0	DRUMOND (1985)
P. oocarpa	2.313	8,0	612,9	7818,2	1055,2	1563,6	5620,9	CASTRO et alii (1980)

Observa-se que o **E. grandis** e o **E. saligna** são mais eficientes na utilização de nutrientes em maiores densidades de plantio (REZENDE et alii, 1983 – Quadro 6). Entre essas espécies o **E. grandis** tem se mostrado mais eficiente na utilização de nutrientes (REZENDE et alii, 1983; SILVA, 1983). Por outro lado as espécies de pinheiro têm se mostrado mais eficientes do que as espécies de eucalipto, principalmente com relação ao K, Ca e Mg.

No atual sistema silvicultura brasileiro, a maior capacidade de absorção de nutrientes pela planta seria muito importante nos povoamentos recém-implantados, para permitir uma maior taxa de recuperação dos elementos aplicados via fertilização, enquanto, que uma maior eficiência de utilização seria desejável durante toda a vida das árvores, principalmente para os solos brasileiros, que são relativamente pobres em nutrientes, os quais devem suportar pelas suas reservas de nutrientes, naturalmente existente, o crescimento florestal (BARROS, 1986).

d) Capacidade de absorção dos nutrientes dos solos

A capacidade de absorção dos nutrientes dos solos pelas plantas depende principalmente de características morfológicas das raízes e da cinética de absorção. Plantas com sistema radicular amplo, constituído de raízes finas e, portanto, com alta superfície de absorção de nutrientes por unidade de peso da planta, têm alta capacidade de absorver os nutrientes em baixa concentração na solução do solo. É importante também que as raízes cresçam espaçadas uma das outras para não haver competição entre elas. A presença de pelos radiculares longos e abundantes é característica desejável para facilitar a absorção de fósforo em solos com baixo coeficiente de difusão do mesmo e com baixos teores na solução (VOLKWEISS, 1986).

KREJCI et alii (1986) estudando o desenvolvimento do sistema radicular do **Eucalyptus cloeziana**, **E. urophylla**, **E. camaldulensis**, **E. grandis**, **E. pellita** e **E. citriodora** observaram que essas espécies diferem sensivelmente na arquitetura do sistema radicular. O **E. grandis**, **E. cloeziana** e o **E. urophylla** apresentaram, relativamente, o sistema radicular mais superficial e mais bem desenvolvido lateralmente; o **E. urophylla** e o **E. pellita** apresentaram bom desenvolvimento do sistema radicular em profundidade e lateralmente e, o **E. citriodora** dentre as espécies estudadas foi a que apresentou o sistema radicular mais profundo e menos desenvolvido lateralmente. JACOBS (1955) apresenta características do sistema radicular de outras espécies de eucalipto e de algumas das estudadas por KREJCI et alii (1986), com observações coincidentes.

Esses resultados vêm corroborar a maior capacidade de absorção dos nutrientes, para doses crescentes de fertilizantes, das espécies com sistema radicular mais superficial. Por outro lado, estas espécies apresentam-se como as mais sensíveis ao déficit hídrico, supostamente, pela menor profundidade de exploração do solo pelo sistema radicular.

LIMA (1987) comentando o trabalho de Incoll (1979) relata que esse pesquisador verificou em floresta de **E. regnans** de 29 anos de idade que 98% do peso seco das raízes ocorreu nos primeiros 60 cm de solo, e que a raiz pivotante atingiu a profundidade máxima de 2,6 metros.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Uma das questões cruciais na atividade florestal é aquela relativa à manutenção da produtividade do sítio, e se possível, o da elevação da produtividade. O manejo das florestas em regime sustentado depende, dentre outros fatores, da disponibilidade de nutrientes do sistema para o crescimento contínuo das árvores até exploração, bem como de uma reserva de nutrientes suficiente para a próxima rotação.

Para as condições tropicais onde a produtividade primária e líquida das florestas são muito elevadas e, geralmente, associadas a solos pouco férteis, a manutenção da produtividade do sítio assume caráter de proporções críticas. Para complicar, são precárias as práticas de manejo que visam o melhor aproveitamento dos nutrientes no sistema, além de ser de adoção limitada a utilização de fertilizantes minerais. Como resultante, as taxas de saída de nutrientes do sistema é maior do que as taxas de entrada, conseqüentemente, a queda da produtividade é inevitável.

Aliados aos problemas intrínsecos da produção florestal, usualmente atribuídos à falta de subsídios técnicos, estão os problemas de natureza administrativa. Em outras palavras, na atividade empresarial é de fundamental importância o conhecimento de custos de produção e os lucros derivados desta atividade, com a finalidade de otimizar o uso de insumos ao mesmo tempo minimizar os riscos de produção e comercialização. O que se

presença atualmente é o completo desconhecimento das quantidades ótimas e econômicas de insumos, a serem usados na produção, o que está fazendo com que as dosagens de fertilizantes minerais em uso sejam intermediárias em relação às necessidades totais das árvores.

Na busca pelas quantidades ótimas e econômicas de fertilizantes é provável, com suporte científico, que as dosagens de fertilizantes atualmente em uso devam ser elevadas. Para isso, faz-se premente o relacionamento da produtividade com as respostas aos fertilizantes, com as propriedades do solo e outras variáveis econômicas e técnicas, dentro de uma linha estatística e confiável. O resultado deverá ser a adoção de práticas de menor impacto ambiental, com um balanço de nutrientes no sistema mais favorável, como um todo.

Por fim, o bom sistema de produção florestal é aquele que permite a obtenção da próxima produtividade econômica, como também assegura a manutenção da qualidade do ambiente.

Antes de tudo, o mínimo desejável é que a devolução da terra às próximas gerações seja em níveis tão produtivos quanto aqueles em que foi encontrada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADÁMOLI, J. et alii - Caracterização da região dos cerrados. In: GOEOERT, W. J. **Solos dos cerrados: tecnologias e estratégias de manejo**. Planaltina, EMBRAPA/CPAC, 1986.p.33-74.
- BARROS, N.F. de - A interação genótipo-solo em espécies florestais. In: REUNIÃO SOBRE INTERAÇÃO DO GENÓTIPO COM CLIMA E SOLO, Piracicaba, 1986. **Anais**. Piracicaba, IPEF, 1986. p.11-3.
- BARROS, N.F. de et alii - Níveis críticos de fósforo no solo para eucalipto. **Informe agropecuário**, Belo Horizonte, (141): 15-9, 1986.
- BARROS, N.F. de et alii - Produção de eucalipto em solos de cerrado em resposta à aplicação de NPK e de B e Zn. **Revista árvore**, Viçosa, 5(1): 90-103, 1981.
- BELLOTE, A.F.J. et alii - Extração e exportação de nutrientes pelo **Eucalyptus grandis** Hill ex Maiden em função da idade: 1-macronutrientes. **IPEF**, Piracicaba, (20): 1-23, 1980a.
- BELLOTE, A.F.J. et alii - Extração e exportação de nutrientes pelo **Eucalyptus grandis** Hill ex Maiden em função da idade: 2-micronutrientes. **IPEF**, Piracicaba, (20): 27-45, 1980b.
- CASTRO,C.F .A. et alii - Distribuição da fitomassa e nutrientes em talhões de **Pinus oocarpa** com diferentes idades. **IPEF**, Piracicaba, (20): 61-74, 1980.
- CLARKSON,D.T. - Adaptações morfológicas e fisiológicas das plantas a ambientes de baixa fertilidade. In: ROSANO, P.C. - **Simpósio sobre reciclagem de nutrientes e agricultura de baixos insumos nos trópicos**. Ilhéus, CEPLAC, 1985. p.45-75.

- CNEPA - CENTRO NACIONAL DE ENSINO E PESQUISAS AGRONÔMICAS:
Comissão de Solos - **Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado de São Paulo**. Rio de Janeiro, Serviço Nacional de Pesquisas Agronômicas, 1960. 634p.
- COLTMAN, R. et alii - Intraspecific variation in growth, phosphorus acquisition and phosphorus utilization in tomatoes under phosphorus deficiency stress. **Plant nutrition**, (1): 11722, 1982.
- COUTINHO, L.M.- Aspectos ecológicos do fogo no cerrado: 3 - A precipitação atmosférica de nutrientes minerais. **Revista brasileira de botânica**, São Paulo,(2): 97-101, 1979.
- DRUMOND, M. A. - **Distribuição da biomassa arbórea e dos nutrientes em plantações puras e consorciadas de Liquidambar styraciflua L. e Pinus caribaea var. hondurensis Bar. et Golf**. Piracicaba, 1985. 87p. (Tese-Mestrado-ESALQ).
- FRANÇA, G.V. - **Interpretação de levantamento de solos para fins conservacionistas**. Piracicaba, ESALQ, 1980. 35p.
- GOEDERT, W.J. et alii - **Solos dos cerrados: tecnologias e estratégias de manejo**. Planaltina, EMBRAPA, 1986.p.129-66.
- GONÇALVES, J.L.M. - **Cinética de transformação de fósforo-lábil em não-lábil em amostras solo de cerrado**. Viçosa, 1987.(Tese-Mestrado-UFV).
- HAAG, H.P. - **Ciclagem de nutrientes em florestas tropicais**. Campinas, Fundação Cargill, 144p. 1985.
- JACOBS, M.R. - **Growth habits of the Eucalypts**. Canberra, Forest and Timber Bureau, 1955. 262p.
- KIEHL, E.J. - **Manual de edafologia: relações solo-planta**. São Paulo, Ceres, 1979. 264p.
- KREJCI, L.C. et alii - **Desenvolvimento do sistema radicular de Eucalyptus sp sob diferentes condições de solo**. Salvador, COPENER, 1986. 24p.
- LEPSCH, I.F. - **Manual para levantamento do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso: 4ª Aproximação**. Campinas, SBCS, 1983. 175p.
- LIMA, W.P. - **O reflorestamento com eucalipto e seus impactos ambientais**. São Paulo, ARTPRESS, 1987. 114p.
- MADGEWICK, H.A.I. et alii - Dry matter accumulation, nutrient and energy content of the above ground biomass portion of 4-year old stands of Eucalyptus nitens and E. fastigata. **New Zealand journal of forestry science**, Rotorua, 11(1): 53-9, 1981.
- MALAVOLTA, E. - Exigências nutricionais das plantas e necessidades de fertilizantes e de corretivos. In: ESPINOZA, W. & OLIVEIRA, A.J. - **Anais do simpósio sobre fertilizantes na agricultura brasileira**, Brasília, 1984.p.159-78.

- MALAVOLTA, E. - **Manual de calagem e adubação das principais culturas**. São Paulo, Ceres, 1987. 496p.
- MALAVOLTA, E. & KLIEMANN, H. J.- **Desordens nutricionais no cerrado**. Piracicaba, POTAFOS, 1985. 36p.
- MELLO, F.A.F. et alii - Efeitos da adubação nitrogenada, fosfatada e potássica sobre "stand" em **Eucalyptus (Eucalyptus alba Reinw)**. In: CONFERENCIA MUNDIAL DO EUCALIPTO, 2, São Paulo, 1961. **Documentos**. Jundiaí, CPEF, 1961. v.2, p.933-7.
- MELLO, H.A. et alii - Resultados da aplicação de fertilizantes minerais na produção de madeira de **Eucalyptus saligna** Sm., em solos de cerrado do Estado de São Paulo. **IPEF**, Piracicaba, (1): 7-26, 1970.
- NOVAIS, R.F. et alii - Nutrição do eucalipto e fertilização e correção do solo para seu cultivo. In: BARROS, N.F. de - **Florestas plantadas nos neotrópicos como fonte de energia**. Viçosa, UFV/MAB/IUFRO, 1985. p.133-69.
- OLIVEIRA, A.L.F. - **A fertilização mineral em Silvicultura**. Lisboa, Secretaria da Agricultura, 1959. p.65-95.
- POGGIANI, F. - **Ciclagem de nutrientes em ecossistemas de plantações florestais de Eucalyptus e Pinus: implicações silviculturais**. Piracicaba, 1985. 211p. (Tese-Livre-Docência-ESALQ).
- POGGIANI, F. - Nutrient cycling in Eucalyptus and Pinus plantations ecosystems: silvicultural implications. **IPEF**, Piracicaba, (31): 33-40, dez.1985.
- RAISON, R.J. et alii - Effects of intensified harvesting on rates of nitrogen and phosphorus removal from **Pinus radiata** and **Eucalyptus** forests in Australia and New Zealand. **New Zealand journal of forest science**, Rotorua,12(2): 394-403, 1982.
- RAMIREZ, R. - Efficient use of nitrogen, phosphorus and potassium by corn (**Zea mays** L.) in breads. In: INTERNATIONAL PLANT NUTRITION COLLOQUIUM, 9, 1982. **Proceedings**, v.2, p.515-20.
- RANZANI, G. - Solos de cerrado no Brasil. In: SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO, 3, São Paulo, 1971. **Anais**. São Paulo, Edgard Blücher, 1971. p.26-43.
- REZENDE, G.C. de et alii - Produção e macronutrientes em florestas de eucalipto sob duas densidades de plantio. **Revista Arvore**, Viçosa, 7(2): 165-76, dez. 1983.
- SÁNCHEZ, P. - **Suelos del trópico: características y manejo**. San José, I.C.A., 1981. 660p.

- SILVA, H.D. - **Biomassa e aspectos nutricionais de cinco espécies do gênero Eucalyptus, plantadas em solo de baixa fertilidade.** Piracicaba, 1983. (Tese-Mestrado-ESALQ).
- TURNER, J. et alii - Soil nutrient-vegetation relationships in The Eden Area, N.S.W.: 2 vegetation soil association. **Australian forestry**, Melbourne, 41(4): 223-31, 1978.
- VERDADE, F. da C. & KUPPER, A. - Nitrogênio nítrico e amoniacal das águas pluviais. **Bragantia**, Campinas, (14):11-13, 1975.
- VOLKWEISS, S.J. - Otimização das características da planta para maximizar a eficiência do adubo. In: SILVA, M.C.: **Anais do Seminário Fósforo, Cálcio, Magnésio, Enxofre e Micronutrientes:** Situação Atual e Perspectivas na Agricultura. São Paulo, Manah, 1986. 144p.
- WISE, P.K. et alii - Nutrient removal and replacement associated with short rotation eucalypt plantation. **Australian forestry**, Melbourne, 44(3):142-52, 1981.

CIRCULAR TÉCNICA

Esta publicação é editada pelo Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais em convênio com a Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Departamento de Ciências Florestais

Comissão Editorial: Marialice Metzker Poggiani
Admir Lopes Mora
Walter de Paula Lima

Diretor Científico: Luiz Ernesto George Barrichelo

Chefe do Depto. de Ciências Florestais: Mario Ferreira

Endereço: IPEF – Central Técnica de Informações
Caixa Postal, 9
Fone: (0194) 33-2080
13.400 – Piracicaba (SP) - Brasil

É proibida a reprodução total ou parcial desta publicação sem a prévia autorização da Comissão Editorial.