

---

# 1º Seminário sobre Cultivo Mínimo do Solo em Florestas

## REFLEXO DO CULTIVO MÍNIMO NO AMBIENTE E NA FISIOLOGIA DA ÁRVORE

Geraldo Gonçalves dos Reis\*  
Maria das Graças Ferreira Reis\*

---

### **RESUMO**

O sistema de implantação de florestas através de cultivo mínimo tem sido adotado recentemente no Brasil. Entretanto, os estudos relativos a esse sistema ainda são incipientes na área florestal. No presente trabalho, procurou-se analisar as influências que as técnicas envolvidas no cultivo mínimo podem ter sobre o crescimento das plantas, procurando-se entender os seus efeitos ambientais e fisiológicos. Considerando que o sistema radicular é o componente da planta influenciado diretamente pelo cultivo mínimo, procurou-se analisar as relações entre o crescimento das raízes e alguns fatores ambientais afetados por esse sistema, tais como a fertilidade, porosidade, umidade e arejamento do solo. Procurou-se enfatizar a necessidade de se desenvolver estudos mais detalhados, e a longo prazo, envolvendo as diferentes técnicas de cultivo mínimo, material genético e sítios para evitar tomada de decisões que comprometam a produtividade futura das florestas.

### **INTRODUÇÃO**

O objetivo principal da implantação e manejo de povoamentos florestais é a obtenção de florestas de alta produtividade, para fins tecnológicos específicos. O sucesso no estabelecimento de florestas depende, porém, do conhecimento das bases ecológicas e fisiológicas que governam o crescimento das plantas.

A partir do meio da década de 60, quando grandes áreas começaram a ser estabelecidas com espécies de rápido crescimento, no Brasil, pouco se conhecia sobre a tecnologia a ser adotada para a implantação e manejo dessas florestas. Existia o conceito de que as espécies florestais, principalmente os eucaliptos, se desenvolviam em sítios marginais, utilizando-se baixo nível tecnológico. Na década de 80, entretanto, observou-se grande evolução no desenvolvimento de pesquisas em diferentes linhas relativas à silvicultura, o que permitiu aumento substancial na produtividade dos povoamentos. O preparo intensivo do solo, associado ao uso de material genético e fertilização adequados, permitiu a obtenção de produtividade muito elevada.

Em razão da necessidade de aumentar a capacidade de competição do produto florestal no mercado nacional e internacional, tem havido preocupação em se buscar técnicas adequadas ao desenvolvimento da planta e que apresentem baixo custo operacional. Além disso, tem crescido a preocupação com os impactos ambientais desses povoamentos, o que influencia na capacidade de sustentação futura desses sítios bem como na competitividade do produto, em razão da necessidade de se adequar às exigências ambientais internacionais. Assim sendo, recentemente, os técnicos na área florestal têm se preocupado em utilizar técnicas que visem o aumento da produtividade e que, ao mesmo tempo, favoreçam a manutenção ou aumento da biodiversidade e a conservação do solo, quanto às suas propriedades químicas, físicas e biológicas.

O cultivo mínimo, que envolve redução nas operações de revolvimento do solo para preparo da área para plantio e, modificações nas operações de controle de plantas que se regeneram naturalmente na área de plantio, tem sido adotado recentemente por algumas empresas da área florestal. Há, porém, necessidade de se analisarem

---

\* Professores do Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal Viçosa – CEP 36571-000 Viçosa, MG

os aspectos ambientais e fisiológicos relacionados com a adoção dessa prática, conforme serão discutidos durante o presente trabalho, evitando-se, assim, a sua generalização e prejuízos para o crescimento da árvore. Ou seja, o uso do cultivo mínimo deve ser adotado de forma gradual para permitir avaliação de seus efeitos sobre a produtividade das florestas em diferentes condições ambientais e, para diferentes espécies.

## **CONCEITOS**

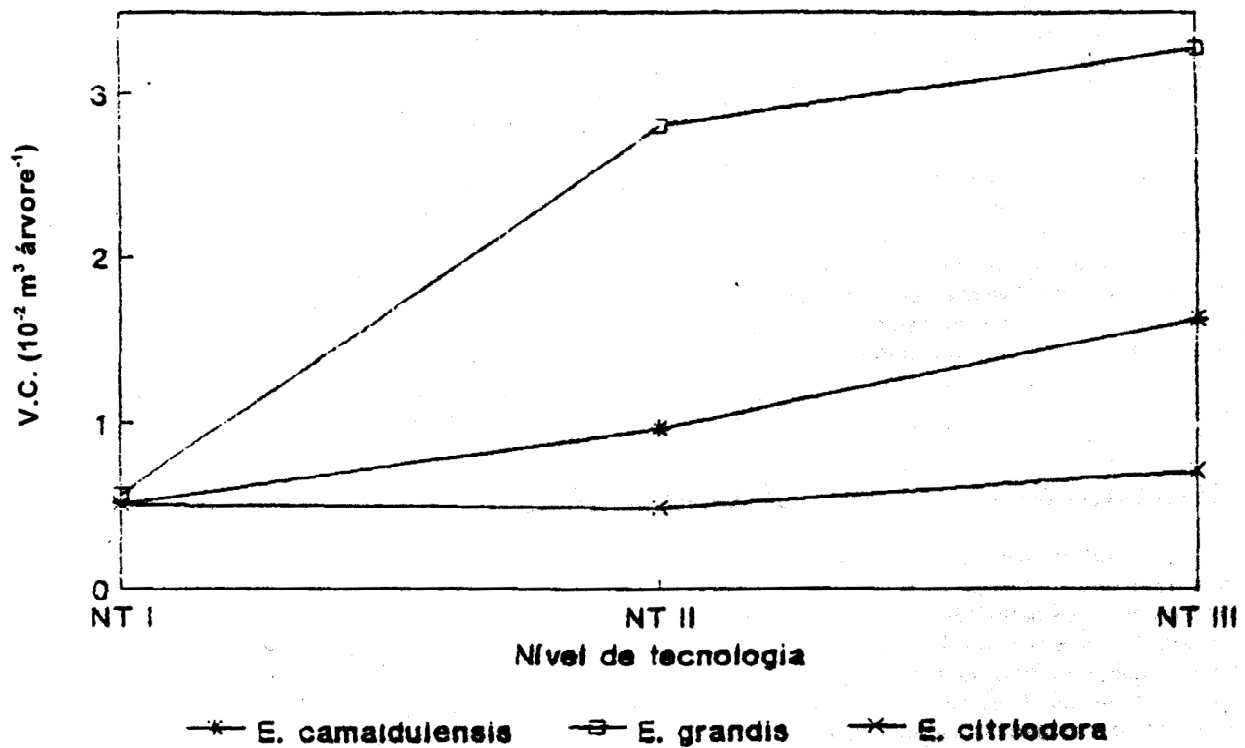
A definição de terminologia é muito importante para que se tenha uma exata dimensão das técnicas envolvidas no sistema silvicultural em discussão. Na área agrícola, o termo plantio direto, segundo MUZILLI (1985), implica em estabelecer uma cultura sem a destruição e incorporação ao solo dos restos da cultura anterior, com um preparo apenas no sulco de semeadura ou plantio e, uso de herbicidas no controle de plantas daninhas. Deve-se salientar que existe uma elevada preocupação no setor agrícola de se estabelecer uma cultura com elevada produção de biomassa para manter a cobertura morta em quantidade suficiente para exercer suas funções ambientais (FANCELLI, 1993), principalmente de proteção ao solo, conforme será descrito mais detalhadamente no presente trabalho. O cultivo mínimo, no setor florestal, está sendo entendido como aquele em que há um preparo reduzido da área, com interferência mínima sobre o solo. Os resíduos vegetais originários da colheita do material lenhoso bem como da aplicação do herbicida, permanecem na área de plantio, incorporados ou não, sem que seja usada a queima. Entretanto, parece não existir, ainda, a preocupação de se aumentar a quantidade de matéria orgânica para propiciar modificações ambientais que favoreçam o desenvolvimento das plantas. Assim sendo, os termos plantio direto, conforme utilizado na área agrícola e, cultivo mínimo, que está sendo amplamente utilizado na área florestal, divergem, basicamente, quanto à importância que se dá ao manejo da matéria orgânica morta. É importante salientar que a importação de técnicas do setor agrícola deva ser realizada com cautela, principalmente, em função das diferenças quanto ao hábito de crescimento das raízes e idade de rotação das culturas agrícolas e florestais.

## **RELAÇÃO ENTRE MATERIAL GENÉTICO E NÍVEL TECNOLÓGICO DE IMPLANTAÇÃO**

A produtividade das espécies florestais depende de seu potencial genético, do clima e tipo de solo em que as plantas estão se desenvolvendo e dos tratos culturais que a elas são dispensados. A produtividade dessas espécies poderá ser aumentada até certo limite, a depender de nossa habilidade em melhorar o ambiente explorado pelas plantas. Para SIMÕES et alii (1981), o solo deve ser intensivamente preparado para que se obtenha uma maior produtividade nos plantios florestais. No entanto, Fonseca (1978), citado por BILA (1988), já salientava haver dúvidas quanto à intensidade de preparo do solo, ressaltando que esse preparo deveria ser realizado em função da espécie utilizada e condições ambientais reinantes em cada sítio. Em muitas regiões e ocasiões, o preparo de solo tem sido, em geral, realizado tão intensivamente quanto para a instalação de uma cultura agrícola altamente exigente. Esses excessos certamente representam uma elevação de custos, podendo expor o ambiente de crescimento da planta a uma degradação rápida, devendo ser evitados, portanto, na implantação de plantios florestais.

A adequação do ambiente para a obtenção de elevada produtividade varia com o material genético, podendo muitos deles se desenvolver satisfatoriamente se estabelecidos por cultivo mínimo. As técnicas silviculturais criam ambientes especiais, o que pode alterar o comportamento dos genótipos, implicando na necessidade de alocação de materiais genéticos específicos para cada nível de tecnologia. BILA (1988) utilizou progênies de *E. grandis*, *E. camaldulensis* e *E. citriodora* em três níveis de tecnologia: solo não preparado e sem adubação mineral; solo preparado e sem adubação mineral e, solo preparado e com adubação mineral. Observou que as três espécies foram separadas em função dos níveis de tecnologia utilizados, com *E. grandis* respondendo mais ao preparo de solo e à adubação mineral, seguido de *E. camaldulensis* e *E. citriodora* (Figura 1). KREJCI et alii (1986) observaram que o *E. grandis* apresentou sistema radicular superficial, o que predispõe essa espécie a

danos especialmente quando em condições de déficit hídrico elevado, justificando, também, os resultados obtidos por BILA (1988), em que observou necessidade de preparo mais intenso da área de plantio para essa espécie. Certamente que esse preparo mais intenso favoreceu um melhor desenvolvimento do sistema radicular do *E. grandis*, implicando em maior produtividade. Enfatizamos, portanto, com base nesses resultados, ser necessário avaliar cuidadosamente os efeitos ambientais e fisiológicos do cultivo mínimo na área florestal em razão da diversidade de material genético e sítios envolvidos no reflorestamento, bem como extensão do ciclo de vida das árvores, o que torna mais difícil o controle e adequação ambiental através de práticas silviculturais.



**FIGURA 1.** Volume cilíndrico (V.C.) de plantas de *Eucalyptus grandis*, *E. camaldulensis* e *E. citriodora*, em três níveis de tecnologia: sem preparo de solo, sem adubação mineral (NTI); preparo de solo, sem adubação mineral (NTII); preparo de solo com adubação mineral (NTIII), aos 24 meses de idade

### ASPECTOS AMBIENTAIS E FISIOLÓGICOS DO CULTIVO MÍNIMO

Através do cultivo mínimo promove-se um número bastante reduzido de intervenções no solo e procura-se manter as plantas arbóreas cultivadas livres de competição através do uso de herbicidas, após a implantação e estabelecimento inicial no campo. A preservação da cobertura do solo, através da manutenção ou da incorporação parcial dos resíduos vegetais ao solo, faz com que esse sistema se torne bastante eficiente em reduzir o processo erosivo, em razão de amenizar o impacto direto das chuvas sobre o solo, além de reduzir a velocidade de escoamento superficial, facilitando a infiltração da água no solo. A depender da quantidade de cobertura morta remanescente e da sua taxa de decomposição, obtém-se uma efetividade muito grande no controle de plantas daninhas, especialmente reduzindo a luminosidade ou impedindo que as raízes das plantas indesejáveis se fixem

no solo. Também, essa cobertura morta cria uma camada isolante reduzindo a amplitude de variação da temperatura no solo, além de impedir a perda de umidade, pela redução da evaporação da água no solo. O revolvimento da camada superficial, resultante do preparo sucessivo do solo, modifica a sua estrutura, de modo a fracionar ou desarranjar os agregados, tornando-os mais instáveis, trazendo conseqüências danosas para o crescimento das plantas. Por outro lado, a matéria orgânica, associada à presença de argila, desempenha papel importante na formação de agregados resultantes da aglutinação de partículas primárias do solo que, convenientemente arrançados, promovem a formação de espaços vazios responsáveis pela porosidade e conseqüente arejamento e infiltração de água adequados. Esses aspectos se revestem de importância, principalmente quando a distribuição das chuvas é irregular e de elevada intensidade e, portanto, de elevado poder erosivo. Sem dúvida, um dos principais objetivos do cultivo mínimo na implantação das florestas é ser um método alternativo de preparo de solo, onde o controle da erosão deve ser bastante efetivo. Ainda, a manutenção da fertilidade ou, até mesmo a melhoria do status nutricional dos solos devem, também, ser preconizados, uma vez que os nutrientes são liberados continuamente através do processo de decomposição da matéria orgânica. Ou seja, o ambiente (aéreo e subterrâneo) deve ser preservado de tal forma que a planta encontre condições favoráveis ao seu estabelecimento e desenvolvimento, de modo a expressar o seu máximo potencial genético e, principalmente, favorecer a geração de uma alta produtividade.

De acordo com DUNCAN (1977), a manipulação de uma cultura ou seja, a adoção de diferentes práticas durante o estabelecimento e crescimento de uma cultura, envolve métodos que permitam um aumento na produtividade através de um melhor uso dos recursos ambientais, tais como, água, nutrientes, dióxido de carbono e luz, através da manipulação da copa e do sistema radicular. A absorção de água e nutrientes, que são processos primordiais no crescimento de uma planta, dependem do crescimento do sistema radicular e, o processo de fotossíntese, que envolve fixação do dióxido de carbono e interceptação da radiação solar, dependem da parte aérea da planta, especialmente da copa. Assim sendo, quaisquer práticas a serem utilizadas no manejo de um povoamento florestal devem ser analisadas quanto ao efeito que exercem sobre os diferentes componentes da planta. As técnicas envolvidas no cultivo mínimo interferem primariamente no crescimento e desenvolvimento das raízes que, por sua vez, influenciam a capacidade produtiva de uma floresta. Por essa razão, a influência do cultivo mínimo sobre as raízes será discutida mais detalhadamente.

### ***Crescimento de raízes***

O crescimento das raízes é um dos processos altamente influenciados pelas práticas utilizadas na implantação e estabelecimento de uma floresta e, o conhecimento sobre o seu padrão de crescimento auxilia na escolha das práticas mais adequadas para o seu cultivo. Segundo MITCHELL (1970), o padrão básico de crescimento das raízes é controlado geneticamente, e a quantidade de raízes e sua distribuição horizontal e vertical podem ser controlados pelos fatores ambientais que são modificados pelas técnicas envolvidas no cultivo mínimo. Segundo esse mesmo autor, as condições ambientais que afetam o crescimento e distribuição das raízes são: fertilidade, porosidade (determinada pelo tipo de solo e sua estrutura), oxigênio, dióxido de carbono, pH, temperatura, água, competição entre plantas e desfolhamento. Alguns desses fatores serão discutidos a seguir, procurando-se relacioná-los com os efeitos da prática do cultivo mínimo.

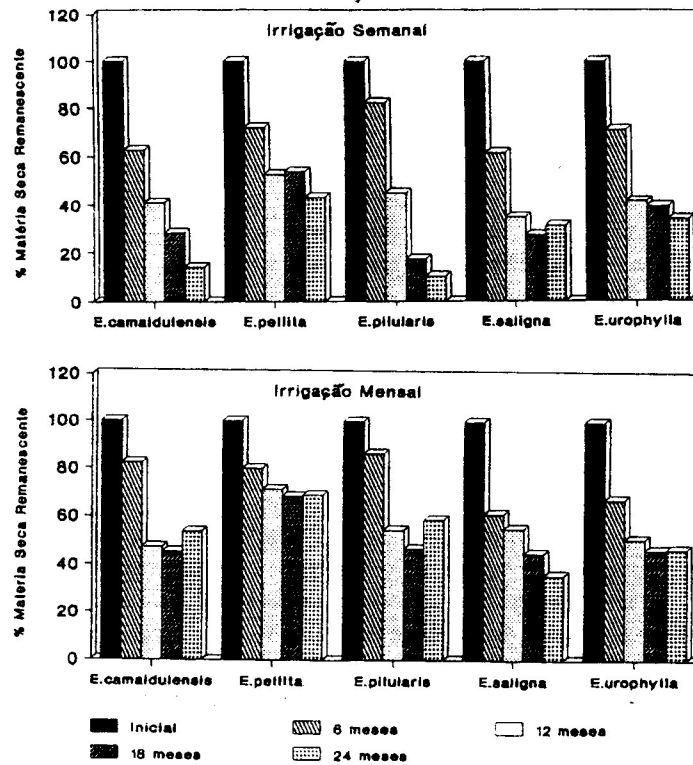
### ***Fertilidade***

A maioria das áreas em que as espécies arbóreas têm sido cultivadas para fins comerciais no Brasil apresentam solos com fertilidade natural baixa. Apesar de estar sendo adotada adubação mais adequada nos últimos anos para o estabelecimento de plantios florestais, certamente que o nível de fertilidade desses solos ainda se encontra aquém daquele em que a fertilidade natural é elevada. Em solos com fertilidade natural baixa, a produção de raízes finas é mais abundante e superficial, permitindo melhor aproveitamento dos nutrientes que se

encontram na manta orgânica ou na solução do solo. REIS et alii (1985) observaram que, em Bom Despacho, MG, sítio de melhor qualidade quanto à fertilidade e disponibilidade de água, as raízes constituíram, em média, 13,7% da biomassa total em idades superiores a 4,3 anos, enquanto que, em Carbonita, MG, sítio considerado de pior qualidade, as raízes constituíram 31,7% da biomassa total, em idades superiores a 3,6 anos, em povoamentos de *Eucalyptus grandis*. A maior alocação de fotoassimilados para a produção de biomassa de raízes ocorreu em detrimento da produção de madeira, que é o principal produto a ser comercializado, na maioria dos reflorestamentos, no Brasil. Em Bom Despacho, a madeira constituía 60% da biomassa total enquanto que em Carbonita esse valor foi de apenas 45%. Assim sendo, técnicas de manejo visando o aumento da fertilidade são importantes na modificação do padrão de distribuição de assimilados na planta, alterando a relação raiz/parte aérea.

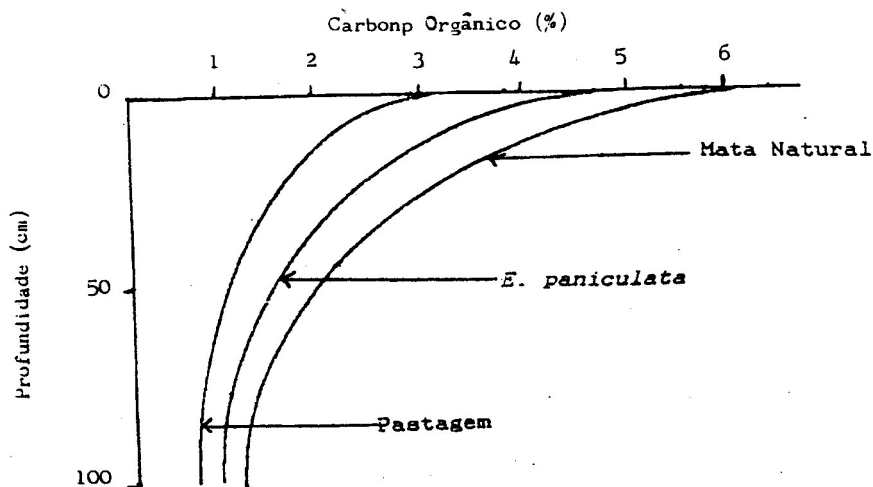
Levando em consideração a adoção do cultivo mínimo, os componentes da copa (folhas e galhos) ou até mesmo a casca, que se constituem em resíduos da exploração florestal, deverão permanecer na área em que será estabelecida a nova cultura florestal. Esses resíduos serão responsáveis pelo aumento da fertilidade do solo, em razão de conterem grande proporção dos nutrientes da árvore. Conforme revisto por REIS e BARROS (1990), os nutrientes alocados para a copa correspondem a valores superiores a 35% do nutriente total ou do nutriente da parte aérea, enquanto a casca é de grande importância para o fornecimento de cálcio para o solo, contendo valores superiores a 50% do cálcio total da planta, mesmo em idades relativamente jovens. Essa influência dos resíduos orgânicos mantidos na área de plantio, sobre a fertilidade, deve ser analisada a longo prazo, especialmente se os resíduos forem mantidos à superfície, ao invés de serem incorporados ao solo, em locais onde as condições para decomposição são inadequadas, como por exemplo em locais de baixa precipitação e fertilidade. Conforme observado por FERREIRA (1984), a taxa de decomposição de folhas senescentes de *E. grandis* em Bom Despacho, MG, foi de 45,5% e em Carbonita, MG, foi de apenas 28% após um período de 18 meses em decomposição. Na Figura 2, observa-se redução na taxa de decomposição em condições de menor disponibilidade de água. Há, também, que se considerar isoladamente o efeito dos resíduos orgânicos de cada espécie, uma vez que existe grande variação na produção de biomassa e seu conteúdo de nutrientes, conforme revisado por REIS e BARROS (1990) e, na sua taxa de decomposição (Figura 2). É importante salientar que, quando o solo possui baixa fertilidade, as plantas são muito eficientes no uso de nutrientes provenientes da manta orgânica em razão do desenvolvimento intenso de raízes à superfície do solo ou diretamente na manta orgânica. Ou seja, mesmo que o processo de decomposição seja lento, a planta pode utilizar eficientemente os nutrientes que estão sendo liberados gradativamente.

Apesar do processo de decomposição ser relativamente lento quando os resíduos orgânicos são mantidos sobre a superfície do solo é importante considerar que, em razão do período entre colheitas do produto florestal ser longo, a matéria orgânica que é produzida ao longo do período de crescimento das árvores já pode ser suficiente para melhorar a fertilidade de um solo. Conforme observado por FONSECA (1984), a quantidade de carbono orgânico em povoamentos de *E. paniculata* estabelecido na região do Rio Doce foi superior ao observado em áreas de pastagem manejadas intensivamente, embora ainda tenha sido inferior ao observado para solos sob floresta natural (Figura 3). Após essas modificações no nível de fertilidade do solo o padrão de distribuição de raízes pode, também, ser modificado, principalmente promovendo uma melhor distribuição das mesmas ao longo do perfil do solo. Deve-se considerar que o desenvolvimento de raízes mais profundas favorece a resistência da planta a períodos de seca.



FONTE: REIS et alii (Dados não-publicados).

**FIGURA 2.** Perdas de peso da matéria seca, em termos percentuais, em folhas verdes de *Eucalyptus* spp., irrigado semanal ou mensalmente.



Adaptado de FONSECA (1984)

**FIGURA 3.** Carbono orgânico, expresso em percentagem, em função de diferentes profundidades do solo, sob pastagem, plantio de *E. paniculata* e mata natural.

Na área agrícola, tem havido preocupação em se estabelecer uma cultura de inverno que apresente produção de biomassa elevada para que a mesma seja utilizada no estabelecimento da cultura subsequente através do método do plantio direto (FANCELLI, 1993; VEDOATO, 1985). Nos últimos anos tem sido testado o consórcio de várias culturas agrícolas com espécies florestais na sua fase de estabelecimento (COUTO et alii, 1982; MONIZ, 1987; PASSOS, 1990). Além de auxiliar na redução de custos de implantação, esse consórcio pode promover o aumento da matéria orgânica, avaliada com base em sua biomassa ou conteúdo de nutrientes. Segundo Peeten (1984), citado por FANCELLI (1993), o milho produz 6.000 kg/ha enquanto a soja produz apenas 1.000 kg/ha de matéria seca, correspondente aos restos culturais. É importante avaliar, para cada sítio, o efeito da matéria orgânica de maior significado para que seja feita a escolha adequada da cultura consorciada: melhoria da fertilidade ou das propriedades físicas do solo? Por exemplo, o aumento no suprimento do nitrogênio, quando se utiliza uma leguminosa em consórcio com a espécie florestal, pode promover maior alocação de carboidratos para o desenvolvimento da parte aérea, reduzindo a relação raiz/parte aérea. Por outro lado, a cultura que produz grande quantidade de biomassa protege melhor o solo quanto à erosão, perda de umidade, insolação, dentre outros, o que, indiretamente, implica em aumento de produtividade florestal.

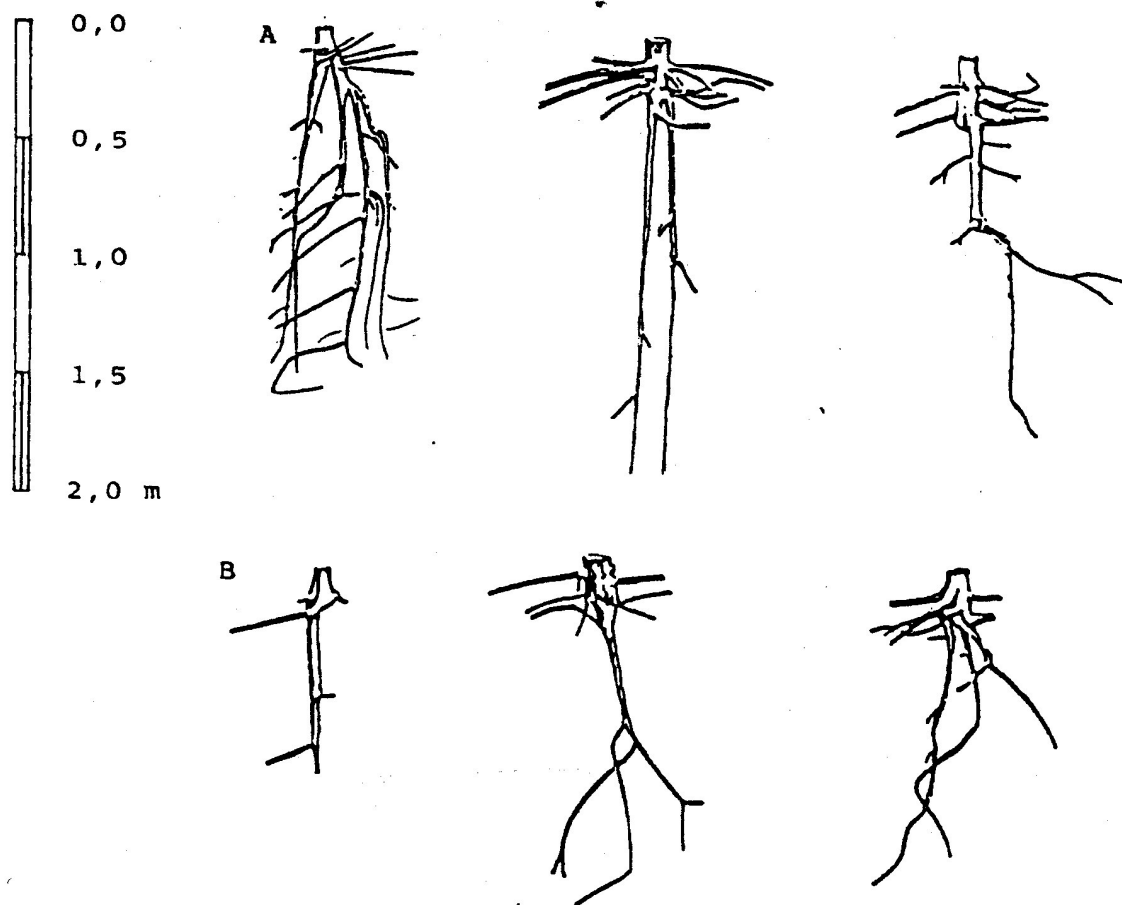
### **Porosidade do solo**

As raízes crescem nos espaços porosos do solo. Quando a raiz encontra resistência em razão da existência de poros de reduzido diâmetro a mesma exerce pressão sobre as partículas do solo para aumentar o tamanho do poro ou, reduz o seu diâmetro para passar através dos poros já existentes (RUSSELL, 1977). O tamanho do poro é indubitavelmente uma característica do solo que pode restringir o crescimento das plantas em razão de impedimento mecânico e não, apenas, em razão de redução na aeração (MITCHELL, 1970). Desta forma, o manejo do solo visando o aumento da porosidade através da melhoria da sua estrutura favorece o crescimento do sistema radicular e, conseqüentemente, da parte aérea da planta. Fontes et alii (1984), citado por ARDENGHI (1989) observaram que o peso das raízes do tomateiro decresceu com o aumento da densidade aparente do solo de 1,05 para 1,25g/cm<sup>3</sup>.

Áreas com a presença de camada compactada não têm sido recomendadas como ponto inicial para o estabelecimento do plantio direto ou cultivo mínimo (VEDOATO, 1985; VICTORIA FILHO, 1985). A camada compactada de solo, além de reduzir a densidade de raízes, promove deformações como tortuosidade e seções achatadas, resultante de esforços para vencer as restrições impostas pelas condições físicas do solo, enquanto que em solos livres de áreas adensadas o crescimento das raízes ocorre de acordo com a carga genética da planta. Na região de cerrado, no Estado de Minas Gerais, GOMES (1994) estudou a arquitetura de raízes de eucalipto, em solo classificado como areia franca, sem impedimento físico. O autor observou que, nestas condições, *E. camaldulensis* apresenta raízes mais profundas do que *E. pellita* (Figura 4). Entretanto, na região do Rio São Francisco, em Minas Gerais, foi verificada redução drástica no crescimento da parte aérea, em povoamentos comerciais de *E. camaldulensis*, em área com presença de camada compactada à profundidade inferior a 40cm. Certamente que a redução no crescimento da parte aérea ocorreu, em parte, como resposta à influência da camada compactada do solo sobre o crescimento das raízes, naquele sítio. Também, observamos na região do Jequetinhonha, em Minas Gerais, área com 100% de mortalidade de *E. grandis* em razão de presença de camada compactada a menos de 20cm de profundidade, enquanto que em áreas próximas, sem a compactação do solo, a mesma espécie mantinha taxa de sobrevivência relativamente alta. *E. grandis* tem demonstrado ser espécie com baixa capacidade de produção de raízes em áreas adensadas e, portanto, o seu manejo através de técnicas de cultivo mínimo, em áreas que apresentam camadas adensadas, deve ser analisada com cuidado.

Os estudos sobre sistema radicular são ainda bastante incipientes na área florestal e, com o desenvolvimento de pesquisas sobre o cultivo mínimo na implantação de florestas, é importante que seja considerada a análise da distribuição vertical e horizontal de raízes ao longo de várias rotações, para melhor

entendimento das respostas das plantas aos diferentes tratamentos. Segundo DUNCAN (1977), o aumento na produção das culturas sucessivas, utilizando-se o cultivo mínimo, pode ocorrer em razão de mudança progressiva do hábito de crescimento das raízes. Segundo esse mesmo autor, os canais formados por animais ou pelas próprias raízes da cultura anterior, favorece o crescimento e melhor distribuição das raízes ao longo do perfil do solo, nas culturas sucessivas. Com o revolvimento intenso do solo, ocorre a destruição parcial ou total desses canais.



Adaptado de GOMES (1994).

**FIGURA 4.** Arquitetura radicular de *E. camaldulensis* (A) e de *E. pellita*, com 14 meses de idade, no espaçamento 3,0 x 1,5 m, em Três Marias, MG.

As áreas com presença de camada de solo compactada, a profundidades que interferem nos processos fisiológicos comprometendo a produtividade das florestas, devem ser preparadas procurando-se obter o restabelecimento da porosidade, através da redução de sua densidade e elevação da estabilidade de seus agregados. Em geral, é feita uma descompactação mecânica, com escarificadores cujas hastes operam a profundidades maiores que o limite inferior ao da camada compactada, observando-se que esta seja realizada com o solo na faixa de umidade equivalente a da friabilidade. Após a operação de descompactação procura-se adicionar material orgânico e, quando possível, estabelece-se uma cultura que apresente um abundante sistema radicular e elevada produção de matéria seca, para a manutenção da macroporosidade, facilitando a reagregação e estabilização dos

agregados. Assegura-se, assim, uma substancial redução da densidade do solo (DENARDIN e KOCHHANN, 1993). A presença de matéria orgânica é importante não somente pelo seu efeito direto na estruturação do solo mas, também, favorecendo o desenvolvimento de organismos do solo, tais como, anelídeos, que são importantes na formação de canais e de agregados (caprólitos) estáveis (VIEIRA, 1985). Segundo CABEDA (1984) a subsolagem é uma técnica utilizada apenas para romper a camada adensada, não interferindo, portanto, sobre a melhoria da estrutura do solo. Essa melhoria, segundo o mesmo autor, deve ser realizada por meios biológicos.

A adoção de técnicas inadequadas de manejo de solo pode promover a degradação da estrutura do solo que resulta em redução e, ou descontinuidade na porosidade. A intensa mobilização da camada arável dos solos promove alterações físicas, principalmente no sentido de fracionar os agregados ou comprometer a sua estabilidade pela elevação da taxa de oxidação da matéria orgânica. GROHMANN e ARRUDA (1961) verificaram que na cultura do milho em latossolo roxo, utilizando-se duas arações no preparo do solo, o diâmetro médio geométrico dos agregados foi de 0,54mm, enquanto no tratamento com enxada manual foi de 0,95mm, após um período de 12 anos de cultivo.

A lixiviação das argilas dispersas promove, também, um novo rearranjo de partículas resultando na eliminação e na descontinuidade de seus poros e, conseqüentemente, elevação da sua densidade aparente. Com isso, forma-se o encrostamento na camada superficial do solo, em conseqüência de redução da taxa de infiltração de água, aumentando os riscos de erosão ou dificultando a livre emergência de plantas. Na camada subsuperficial, forma-se uma camada compactada, que limita o armazenamento de água e sua disponibilidade às plantas, reduz a taxa de troca gasosa do solo com a atmosfera, limitando o desenvolvimento radicular das plantas. Para prevenir esse encrostamento superficial é necessário que se mantenha cobertura vegetal permanente do solo por culturas vivas ou restos culturais, juntamente com uma redução da intensidade de mobilização de solo (DENARDIN, 1984), ou seja, essas melhorias podem ser obtidas adotando-se o cultivo mínimo ou plantio direto.

ARDENGHI (1989) avaliou o efeito do plantio direto de milho durante um período de dez anos na região do Triângulo Mineiro (região de cerrado) sobre as propriedades físicas do solo. Verificou que com a adoção do plantio direto, com controle de ervas daninhas utilizando-se enxada ou herbicida, a densidade aparente foi mais elevada na profundidade de 0-10cm e maior porosidade total na profundidade de 10-20cm, enquanto que com o preparo do solo utilizando-se o arado de aiveca a densidade aparente foi mais elevada na profundidade de 10-20cm. Esses resultados podem indicar que com o uso de equipamento para preparo do solo houve aumento da compactação na camada de 10-20cm enquanto que no método de plantio direto os canais que já existiam a maiores profundidades devido ao efeito de organismos do solo, inclusive das raízes, foram mantidos. Abrão et alii (1979), citados por ARDENGHI (1989), também observaram densidade aparente mais elevada na profundidade de 0-20 cm, quando se utilizou o plantio direto. Certamente que com as modificações atuais no método de plantio direto, na área agrícola, em que tem-se procurado incluir uma cultura de inverno para aumento da produção de matéria orgânica, os efeitos benéficos sobre a estrutura do solo serão maiores, reduzindo a densidade aparente mesmo à superfície.

A avaliação dos resultados do cultivo mínimo sobre a porosidade deve ser avaliada com cuidado. O histórico do manejo da área bem como outras propriedades físicas tais como textura, umidade, quantidade de matéria orgânica produzida e tempo de exposição da área a determinado tipo de manejo influenciam esses resultados. O efeito da matéria orgânica sobre a estrutura do solo poderá ser maior nas camadas superficiais nos primeiros anos de uso desse método. Com o uso contínuo do manejo da matéria orgânica poderá haver sua incorporação a maiores profundidades do solo desde que a taxa de mineralização seja inferior à taxa de produção de matéria orgânica. É aconselhável que os estudos sobre os efeitos do cultivo mínimo na área florestal sejam realizados por períodos longos, a exemplo do que vem sendo observado na área agrícola, em que avaliações têm sido realizadas por períodos superiores a 10 anos.

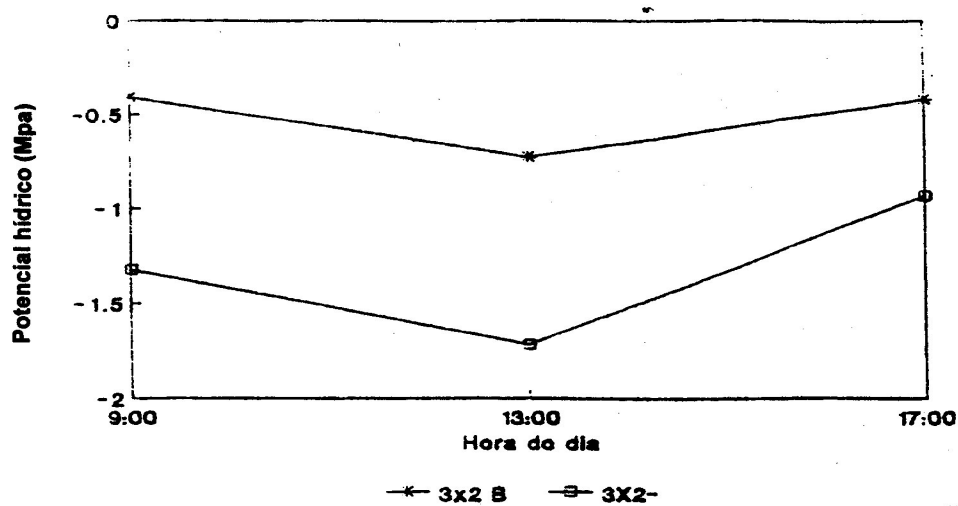
### *Umidade e arejamento do solo*

Usualmente, os reflorestamentos estão sendo estabelecidos em regiões onde a precipitação é baixa e irregular e a temperatura é relativamente elevada. Assim, as adaptações da planta à deficiência hídrica assumem grande importância no estabelecimento dos reflorestamentos. Dentre essas adaptações, destaca-se o desenvolvimento do sistema radicular, que é influenciado pelas técnicas de estabelecimento e manejo dos povoamentos florestais. As espécies florestais, de modo geral, apresentam sistema radicular mais profundo que a maioria das espécies agrícolas e, portanto, os métodos de manejo dessas culturas devem ser diferenciados. Há, neste caso, necessidade de se estabelecerem técnicas que visem a melhoria das condições de umidade e arejamento do solo e, conseqüentemente, melhor desenvolvimento das raízes pivotante e laterais, o que influenciará a produção e translocação de assimilados e reguladores de crescimento da raiz para a parte aérea e vice-versa.

O manejo da porosidade e da temperatura do solo, através das técnicas de cultivo mínimo, é de grande importância no balanço de água no sistema solo-planta-atmosfera, implicando em economia de água. A matéria orgânica mantida sobre o solo funciona como uma barreira física isolando a sua superfície da incidência direta da radiação solar, reduzindo as variações térmicas e mantendo, assim, a umidade por período mais prolongado após ocorrência de chuva, em razão de redução na taxa de evaporação. Reduz, também, a velocidade de escoamento superficial de água, facilitando a sua infiltração e armazenamento no solo por período mais prolongado. Segundo VIEIRA (1984), solos sob plantio direto podem reter de 36 a 45% mais água disponível para as culturas do que solos sob preparo convencional. Segundo MUZILLI (1985), além do plantio direto promover redução no processo de erosão de até 90%, permite economia de água de 10 a 20% em períodos de deficiência hídrica, favorecendo a manutenção de crescimento mais uniforme das plantas. Segundo VIEIRA (1981), essa melhoria do status hídrico do solo, quando se mantém a matéria orgânica morta como cobertura, pode explicar o fato de ter ocorrido penetração das raízes de soja de forma adequada, passando através da camada superficial do solo com maior adensamento.

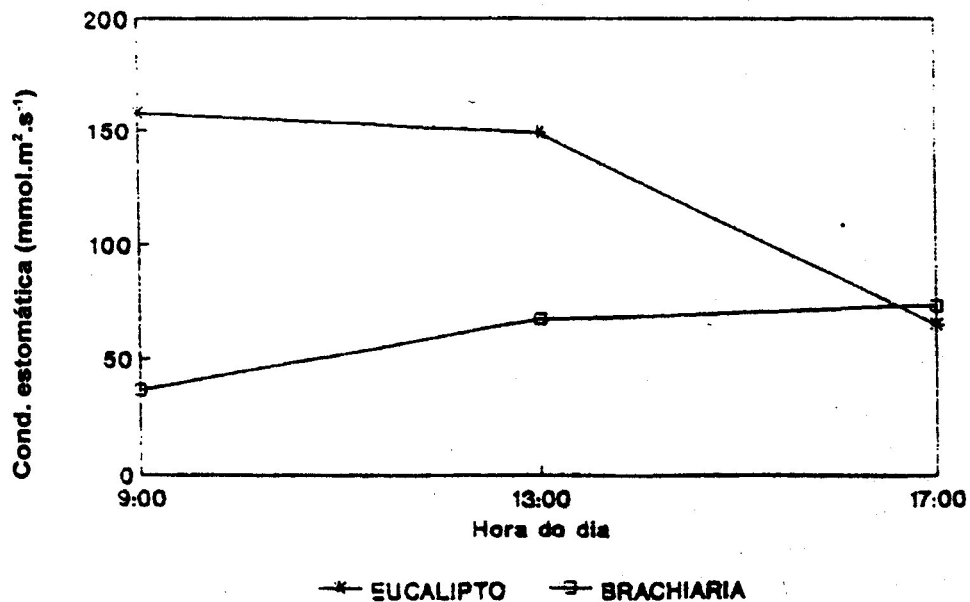
As raízes se desenvolvem adequadamente em solos úmidos e suficientemente arejados. A presença da água na região meristemática e de alongação é necessária para manter a turgescência das células, e ocorrer a divisão e extensão celular. Entretanto, o desenvolvimento da raiz em diâmetro é mais afetado pelo déficit hídrico do que a alongação (RENDIG e TA YLOR, 1989). Durante o período seco, as raízes finas que se encontram na camada de solo com deficiência hídrica podem morrer parcialmente e, pode haver modificações nas reservas de carboidratos, afetando a produção e sobrevivência da planta (REIS e REIS, 1991). No sistema convencional de preparo de área para plantio, em que há revolvimento intenso do solo e incorporação da matéria orgânica, a camada superficial fica mais sujeita a oscilações bruscas de temperatura, aumentando a possibilidade de efeitos injuriosos sobre as raízes. O estresse hídrico, que promove uma série de modificações metabólicas na planta, resulta da interação do status hídrico do solo, de fatores fisiológicos ligados à própria planta, como o fechamento dos estômatos e crescimento e distribuição de raízes e, da demanda evaporativa. A redução da demanda evaporativa é possível através do uso das técnicas de cultivo mínimo, principalmente pelo manejo da cobertura morta. O status hídrico do solo pode, também, ser melhorado com o manejo da cobertura morta ou viva, por favorecer a infiltração de água no solo. REIS et alii (dados não publicados) observaram que o potencial hídrico em povoamentos de *E. grandis*, implantado no espaçamento 3x2m, foi mais elevado quando consorciado com a *Brachiaria decumbens* que foi estabelecida em curva de nível nas entrelinhas (Figura 5). Essa melhoria do status hídrico pode ter ocorrido em razão da gramínea ter favorecido a redução do escoamento superficial e, conseqüentemente, aumento na infiltração de água no solo. Em razão da baixa condutância estomática da gramínea em relação ao eucalipto (Figura 6) e da diferença na profundidade do sistema radicular, a planta estabelecida no sub-bosque apresentou baixa competição com a espécie arbórea. Ou seja, mesmo a planta viva no sub-bosque pode favorecer a manutenção da umidade no solo e, conseqüentemente, a produtividade das florestas. Atualmente, tem sido estudada a possibilidade de uso de espaçamentos mais amplos para o cultivo de espécies florestais (LELLES, 1995) ou mesmo arranjos espaciais em que a distância entre plantas na fileira é reduzida e entre linhas é ampla. O uso de espaçamentos amplos entre fileiras permite a manutenção das plantas que ali

crecem, principalmente nos primeiros anos de estabelecimento da floresta, em razão de se ter, ainda, baixa ocupação do solo pelas raízes da espécie arbórea comercial (Figura 7). A manutenção da vegetação viva promove, também, a formação de macroporos.



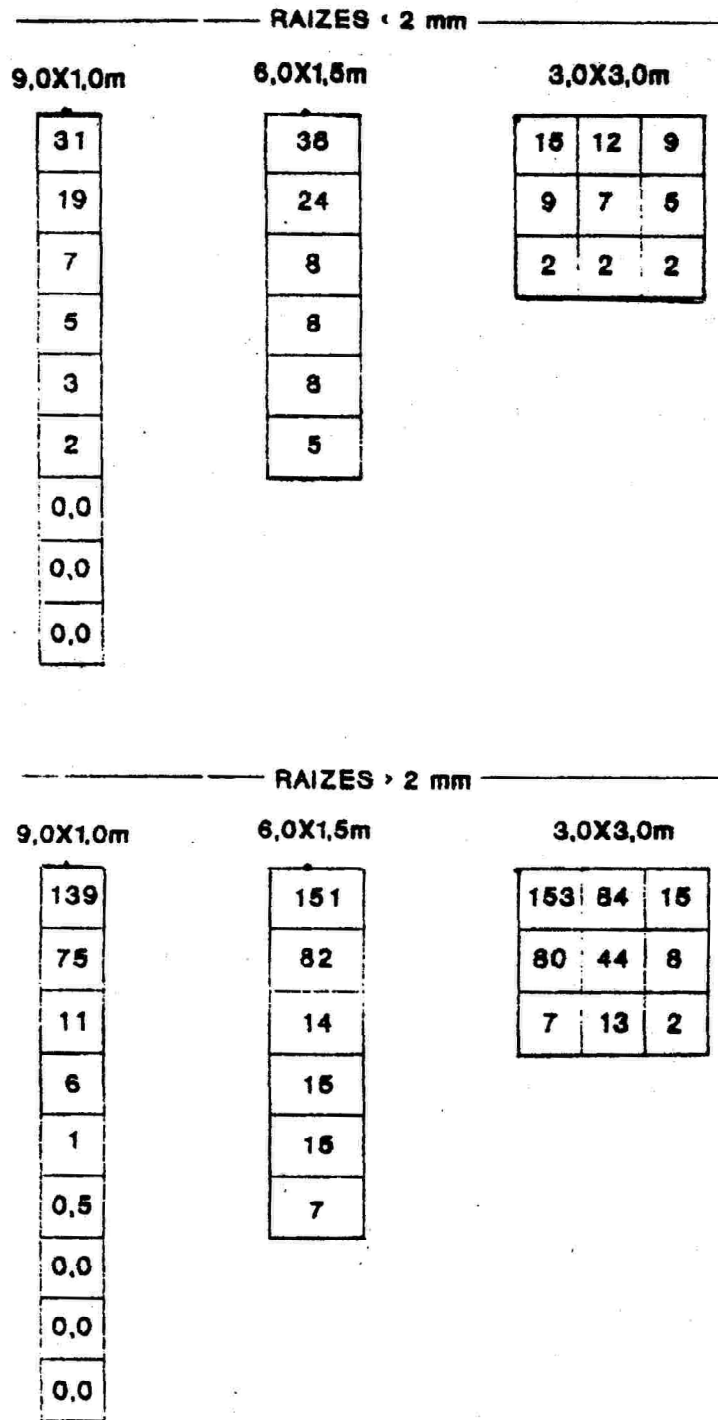
FONTE: PINHEIRO et alii (Dados não-publicados).

FIGURA 5. Potencial hídrico de plantas de *E. grandis* no espaçamento 3,0 x 2,0 m solteiro e em consórcio de *Brachiaria decumbens*.



FONTE: GARCIA et alii (Dados não-publicados).

FIGURA 2. Condutância estomática de plantas consorciadas de *Brachiaria decumbens* e de *E. grandis*



FONTE: REIS et alii (Dados não-publicados).

**FIGURA 7.** Ocupação de raízes (< 2 mm e > 2 mm) de plantas de *E. camaldulensis* de um ano, nos espaçamentos 9,0 x 1,0 m, 6,0 x 1,5 m e 3,0 x 3,0 m, em João Pinheiro, MG.

É importante salientar que a presença de macroporos permite melhor drenagem da água gravitacional, mantendo a aeração do solo. As raízes precisam respirar, ou seja, o arejamento do solo é primordial para a sustentação do seu crescimento e, conseqüentemente, da parte aérea. O movimento do oxigênio através do solo para atingir as raízes ocorre através de poros interconectados. Assim sendo, é importante o manejo da porosidade, visando o aumento dos macroporos, quer seja através do manejo da cobertura morta, quer seja através do uso de plantas que possuem sistema radicular agressivo que se desenvolvem em solos mais adensados mas que, ao morrerem, deixam livres os canais formados pela pressão exercida para a formação das raízes.

A avaliação dos efeitos do cultivo mínimo sobre a umidade do solo e, conseqüentemente, sobre o crescimento das plantas, deve ser realizada em conjunto com a avaliação de outros fatores que são influenciados pela umidade, tais como a temperatura, organismos do solo, oxigênio, dióxido de carbono e decomposição da matéria orgânica, dentre outros. Na verdade, os efeitos do cultivo mínimo sobre a produtividade das florestas envolve não apenas uma elevada diversidade de fatores ambientais que apresentam um complexo interrelacionamento mas, também, envolve uma diversidade de processos fisiológicos que devem ser analisados e que, em conjunto, resultam em maior produtividade das florestas. Em conclusão, o avanço nos conhecimentos de ecologia e fisiologia vegetal, analisados em conjunto, é que possibilita a melhor adequação das técnicas de manejo de um sítio visando elevada produtividade.

### **CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES**

A implantação de florestas deve envolver técnicas silviculturais que garantam elevada produtividade a custo reduzido. Esta implantação, quando realizada de maneira convencional, requer intensa mobilização do solo, o que eleva substancialmente os custos de implantação, muitas vezes predispondo o ambiente a uma rápida degradação. Com o cultivo mínimo, o revolvimento de solo é reduzido, as plantas indesejáveis são controladas com herbicidas, e a matéria orgânica morta, adequadamente manejada, pode trazer vários benefícios ambientais. Entretanto, em razão da deficiência de estudos sobre cultivo mínimo na área florestal, a adoção desta técnica deve ser gradual, pois, a elevada diversidade de condições ambientais e material genético dificulta a escolha de métodos específicos.

Para melhor entendimento dos efeitos do cultivo mínimo sobre a produtividade florestal é necessário desenvolver estudos sobre os aspectos ambientais e fisiológicos envolvidos nesse sistema. Verifica-se, com base nos estudos já desenvolvidos para a área agrícola, que os aspectos fisiológicos da planta têm sido pouco estudados. Atenção especial deve ser dada ao melhor conhecimento sobre o crescimento das raízes, analisando-se a sua distribuição vertical e horizontal, bem como, as relações entre raiz e parte aérea, quanto à absorção de água e nutrientes e produção e translocação de hormônios e fotoassimilados. O manejo da matéria orgânica é primordial nesse sistema. Maior ênfase deve ser dada à quantificação da biomassa e taxa de decomposição de resíduos após exploração e da manta orgânica acumulada durante cada rotação. Técnicas devem ser utilizadas visando não somente a manutenção da cobertura morta mas, também, o seu aumento através de, por exemplo, uso de consórcio com culturas agrícolas de elevada produção de biomassa, na fase inicial de estabelecimento das florestas. Esses estudos devem ser realizados utilizando-se diferentes materiais genéticos, condições ambientais e técnicas de cultivo.

### **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- ARDENGUI, AF. Efeito de métodos de preparo do solo e de controle de plantas daninhas sobre propriedades físicas e químicas de um latossolo roxo eutrófico, cultivado com milho, durante dez anos. Viçosa, UFV, 1989.68 p.
- BILA, AD. Interações de espécies e progênies de eucalipto com três níveis de tecnologia de implantação florestal. Piracicaba, 1988. 149 p. (Tese M.Sc)

CABEDA, M.SV Degradação física e erosão do solo. In: SIMPÓSIO DE MANEJO DO SOLO E PLANTIO DIRETO NO SUL DO BRASIL, 10., e SIMPÓSIO DE CONSERVAÇÃO DE SOLO DO PLANALTO, 30. Anais... Passo Fundo, 1984. p. 28-35.

COUTO, L.; BARROS, N.F.; REZENDE, G.C. Interplanting soybean with eucalypt as a 2-tier agroforestry venture in south-eastern Brazil. *Aust. For. Res.*, 12:329-332, 1982.

DENARDIN, J.E. Manejo adequado do solo para áreas motomecanizadas. SIMPÓSIO DE MANEJO DO SOLO E PLANTIO DIRETO NO SUL DO BRASIL, 10., e SIMPÓSIO DE CONSERVAÇÃO DE SOLO DO PLANALTO, 30. Anais... Passo Fundo, 1984. p. 107-123.

DENARDIN, J.E. e KOCHHANN, R.A. Requisitos para a implantação e a manutenção do sistema plantio direto. In: EMBRAPA, FECOTRIGO e FUNDAÇÃO ABC. *Plantio direto no Brasil*. Passo Fundo, Ed. Aldeia Norte, 1993. p. 19-28.

DUNCAN, W.G. Cultural manipulation for higher yields. In: EASTIN, J.D.; HASKINS, F.A.; SULLIVAN, C.Y.; VAN BAVEL, C.H.M. *Physiological aspects of crop yield*. Madison, American Society of Agronomy, 1969. p. 327-342.

FANCELLI, A.L. A importância da cultura de milho no plantio direto. In: EMBRAPA/FECOTRIGO/FUNDAÇÃO ABC PARA ASSISTÊNCIA E DIVULGAÇÃO TÉCNICA AGROPECUÁRIA *Plantio direto no Brasil*. Passo Fundo, Editora Aldeia Norte, 1993. p. 119-127.

FERREIRA, M.G.F. An analysis of the future productivity of *Eucalyptus grandis* plantations in the cerrado region in Brazil: a nutrient cycling approach. Vancouver, University of British Columbia, 230 p. (Tese Ph.D.)

FONSECA, S. Propriedades físicas, químicas e microbiológicas de um latossolo vermelho-amarelo sob eucalipto, mata natural e pastagens. Viçosa, UFV, 1984. 78 p. (M.Sc.)

GARCIA, N.C.P.; REIS, G.G. e REIS, M.G.F. Estudo ecofisiológico de florestas plantadas com gramíneas em áreas acidentadas da Zona da Mata de Minas Gerais: Crescimento e eficiência no uso de água entre *E. grandis* x *Brachiaria decumbens* (Dados não-publicados).

GOMES, R.T. Efeito do espaçamento no crescimento e nas relações hídricas de *Eucalyptus* spp. na região de cerrado de Minas Gerais. Viçosa, UFV, 1994. 85 p. (Tese M.Sc.)

GROHMANN, F. e ARRUDA, H.V. Influência do preparo do solo sobre a estrutura da terra-roxa-legítima. *Bragantia*, 20(49):1203-1209. 1961.

KREJCI, K.C.; MARGINS, L.G.C.; LOURENÇO, P.Y. Desenvolvimento do sistema radicular de *Eucalyptus* spp. sob diferentes condições de solo. Salvador, COPENER, 1986. 24 p.

LELLES, P.S.S. Crescimento, alocação de biomassa e distribuição de nutrientes e uso de água em *E. camaldulensis* e *E. pellita* sob diferentes espaçamentos. Viçosa, UFV, 1995. 133 p. (Tese M.Sc.)

- MITCHELL, RL. Root growth and development. In: -' Crop growth and culture. Ames, Iowa State University Press, 1970. p. 173-194.
- MONIZ, CYD. Comportamento inicial do eucalipto (*Eucalyptus torelliana* F. Muell), em plantio consorciado com milho (*Zea mays* L.) no Vale do Rio Doce, em Minas Gerais. Viçosa, UFV, 1987.68 p. (Tese M.Sc.)
- MUZILLI, O. O plantio direto no Brasil. In: FANCELLI, AL. Atualização em plantio direto. Campinas, Fundação Cargill, 1985. p. 3-16.
- PASSOS, CAM. Comportamento inicial do eucalipto (*Eucalyptus grandis* W. Hill ex. Maiden) em plantio consorciado com feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), no Vale do Rio Doce, Minas Gerais. Viçosa, UFV, 1990.64 p. (Tese M.Sc.)
- REIS, M.G.F. & BARROS, N.F. Ciclagem de nutrientes em plantios de eucalipto. In: BARROS, N.F. & NOVAIS, RF. Relação solo-eucalipto. Viçosa, Editora Folha da Mata, 1990. p. 264-301.
- REIS, M.G.F.; KIMMINS, J.P.; REZENDE, G.C.; BARROS, N.F. Acúmulo de biomassa em uma seqüência de idade de *Eucalyptus grandis* plantado no cerrado em duas áreas com diferentes produtividades. Rev. Árvore, 9:149-162,1985.
- REIS, G.G. & REIS, M.G.F. Respostas estomáticas e mudanças nos níveis de reservas de plantas intactas e de brotações de *E. camaldulensis* Dehn submetidas a deficiência hídrica no solo. Rev. Árvore, 15(2): 112-125, 1991.
- REIS, M.G.F. REIS, G.G. índice de ocupação de raízes de *E. camaldulensis* em diferentes espaçamentos, em João Pinheiro, MG (Dados não-publicados).
- REIS, M.G.F. REIS, G.G. FERNANDES, HAC.& BARROS, M. M. e BARROS, N.F. Decomposição de folhas verdes de *Eucalyptus* spp (Dados não publicados).
- RENDIG, V. V. & TA YLOR, H. M. Root growth and distribution. In: - Principles of soil-plant interrelationships. New York, McGraw-Hill, 1989. p. 37-77.
- RUSSELL, RS. Mechanical impedance of root growth. In: - Plant root systems: their function and interaction with the soil. London, McGraw-Hill Book Company, 1977. 298 p.
- SIMÕES, J.W.; BRANDI, RM.; LEITE, N.B.; BALLONI, EA Formação, manejo e exploração de florestas com espécies de rápido crescimento. Brasília, IBDF, 1981. 131 p.
- VEDOATO, RA Princípios básicos de plantio direto. In: FANCELLI, AL. Atualização em plantio direto. Campinas, Fundação Cargill, 1985. p. 19-20.
- VICTORIA FILHO, R Potencial de ocorrência de plantas daninhas em plantio direto. In: FANCELLI, A.L. Atualização em plantio direto. Campinas, Fundação Cargill, 1985. p. 31-46.
- VIEIRA, M.J. Comportamento físico do solo em plantio direto. In: FANCELLI, A.L. Atualização em plantio direto Campinas, Fundação Cargill, 1985. p. 163-178