

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ
Leandro de Oliveira

**RECUPERAÇÃO DO SOLO EM POVOAMENTOS FLORESTAIS
EM ÁREA DE EXPLORAÇÃO DE AREIA NO MUNICÍPIO DE
TREMEMBÉ-SP**

Taubaté – SP
2007

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ
Leandro de Oliveira

**RECUPERAÇÃO DO SOLO EM POVOAMENTOS FLORESTAIS
EM ÁREA DE EXPLORAÇÃO DE AREIA NO MUNICÍPIO DE
TREMEMBÉ-SP**

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre pelo curso de Ciências Ambientais. Área
de Concentração: Ciências Ambientais
Orientador: Prof. Dr. Serafim Daniel Ballesterio

Taubaté – SP
2007

LEANDRO DE OLIVEIRA

**RECUPERAÇÃO DO SOLO EM POVOAMENTOS FLORESTAIS EM ÁREA DE
EXPLORAÇÃO DE AREIA NO MUNICÍPIO DE TREMEMBÉ-SP**

Dissertação apresentada para obtenção do título
de Mestre em Ciências Ambientais da
Universidade de Taubaté.

Data: _____

Resultado: _____

BANCA EXAMINADORA

Prof. _____

Assinatura _____

Prof. _____

Assinatura _____

Prof. _____

Assinatura _____

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Serafim Daniel Ballesterro que me orientou com muita atenção, dedicação e paciência durante toda a dissertação.

Ao proprietário e funcionários da Mineraria “Cinco Lagos” por ter cedido o espaço e o material da pesquisa.

A Prof^ª. Dra. Maria Helena de Arruda Leme pela ajuda e colaboração nos momentos finais da dissertação.

Aos colegas Fábio Bassi Gianico e Marcelo do Vale Lemos pela colaboração na coleta de dados a campo.

RECUPERAÇÃO DO SOLO EM POVOAMENTOS FLORESTAIS EM ÁREAS DE EXPLORAÇÃO DE AREIA NO MUNICÍPIO DE TREMEMBÉ - SP

RESUMO

A recuperação de áreas degradadas devido à exploração minerária, notadamente pela extração de areia, é realizada pela recomposição florestal com espécies nativas. No presente trabalho analisou-se a disponibilidade de nutrientes e a quantidade de serapilheira acumulada em um fragmento de mata ciliar nativa e em cinco fragmentos de recomposição florestal de áreas anteriormente utilizadas para exploração de areia no município de Tremembé, SP. Estas áreas apresentam-se em processo de desenvolvimento vegetativo com períodos diferentes, variando de 1,5 a 11 anos. Foi analisado o teor de nutrientes, matéria orgânica, acidez do solo e a produção da serapilheira total e fracionada em folhas, ramos e raízes. As serapilheira foi amostrada em parcelas de 1m², nas camadas 0-20 e 20-40 cm em cinco pontos escolhidos aleatoriamente nas leiras e entre leiras, em todas as áreas. Nas amostras de solo analisaram-se os atributos pH, matéria orgânica, Fósforo, Potássio, Cálcio, Magnésio, Hidrogênio, Alumínio, soma de bases, capacidade de troca catiônica e porcentagem de saturação de base. A comparação da produção de serapilheira e dos atributos químicos entre as áreas foi analisada por meio de análise de variância complementada pelo teste de Tukey. Observou-se menor produção de serapilheira total nos fragmentos a partir de 6,5 anos de reflorestamento. Entretanto, a partir deste período, a relação entre o teor de matéria orgânica e a quantidade de serapilheira da camada superficial do solo tende a diferir, com aumento no teor de matéria orgânica e redução da produção de serapilheira, decorrente, possivelmente, do efeito acumulativo da matéria orgânica no solo através de compostos orgânicos mais resistentes à decomposição responsáveis pela formação do húmus. Por meio das análises dos atributos químicos, os solos dos fragmentos florestais foram classificados como distróficos e de fertilidade moderada. Os teores dos nutrientes apresentaram valores médios para cálcio e magnésio, alto para o fósforo e baixo para o potássio. Os valores mais elevados de cálcio, magnésio e fósforo podem ser decorrentes do efeito residual da adubação realizada na época do plantio.

Palavras chave: Áreas degradadas, extração de areia, recuperação do solo, reflorestamento, povoamentos florestais, serapilheira.

SOIL RECUPERATION IN FOREST SETTLEMENTS IN MINING AREAS IN THE TREMEMBE MUNICIPALITY - SP

ABSTRACT

The recuperation of degraded areas due to mining activity namely sand mining is carried out by the forest recomposition with native species. In the present work the availability of nutrients along with amount of living matter cover accumulated in a native ciliary wood and in five fragments of forest recomposition of areas previously used for sand mining in the municipality of Tremembe –SP. Such areas are currently at different phases of vegetative development process, ranging from 1, 5 and 11 years. The content of nutrient, organic matter, soil acidity and total production of living matter cover and coarse living matter – leaves ,twigs and roots – were analyzed .The living matter cover was sampled in 1 m² fragments the 0-20 and 20-40 cm layers at five different random points in the beds and between the beds in all areas. The soil samples were analyzed in terms of the attributes pH, organic matter, P, K, Ca , Mg , H , Al , base aggregation , cation exchange capacity and base saturation percentage. The comparison of the living matter cover production and the chemical attributes between the areas were analyzed by means of variance analysis complemented by the Tukey test. A smaller production of total living matter cover was observed in the fragments over 6, 5 reforestation years. As from that period however, the relation between the content of the organic matter and the amount of living matter cover in the superficial layer of the soil tends to differ. There is an increase in the nature of organic matter and the reduction of the production of living matter cover possibly due to the cumulative effect of the organic matter in the soil through the organic composts that are more resistant to decomposition and respond for the humus formation. By means of the analyses of the chemical attributes the soils of the forest fragments were classified as dystrophic and moderately fertile. The nature and level of nutrients presented average values for Ca and Mg, high for P and low for K. The higher values for Ca, Mg and P may be a result of the residual effect of the fertilization carried out during the planting process.

Key words: degraded areas, sand mining, soil recuperation, reforestation, forest settlements, living matter cover.

SUMÁRIO

	PÁGINAS
1 INTRODUÇÃO.....	7
2 REVISÃO DA LITERATURA.....	10
2.1 - Degradação ambiental.....	10
2.1.2 - Restauração ambiental.....	12
2.1.3 - Reflorestamento no Brasil.....	13
2.1.4 - Regeneração natural.....	14
2.1.5 - Uso de indicadores de qualidade de solo no monitoramento de processo de recuperação de áreas degradadas.....	16
2.1.6 - Efeito da compactação na resistência do solo sobre o crescimento das raízes.....	23
3 OBJETIVOS.....	25
3.1 - Geral.....	25
3.2 - Específicos.....	25
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	26
4.1 - Caracterização do local de estudo.....	26
4.2 - Caracterização das áreas analisadas.....	28
4.3 - Procedimentos amostrais.....	38
4.4 - Análises físicas do solo.....	40
4.5 - Análises químicas do solo.....	45
4.5.1 - Valores de interpretação dos atributos químicos do solo.....	45
4.6 - Análise da serapilheira	48
5 RESULTADOS.....	49
5.1 - Avaliação da produção de serapilheira.....	49
5.2 - Produção de serapilheira e teores de matéria orgânica na camada superficial dos fragmentos	50
5.3 - Análise da variação dos atributos químicos do solo nos fragmentos florestais com diferentes idades e nas profundidades de 0 -20 e 20 - 40cm.....	51
5.4 - Variação dos atributos físicos do solo dos fragmentos florestais nos diferentes períodos de desenvolvimento	53

5.4.1 - Variação da densidade do solo, porcentagem da porosidade total e porcentagem de unidade nas leiras e entre leiras.....	54
5.4.2 - Variação da resistência do solo à penetração nos fragmentos florestais em diferentes profundidades	55
6 DISCUSSÃO.....	58
7 CONCLUSÕES	63
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	65

1 INTRODUÇÃO

A atividade de extração de areia que ocorre na planície aluvial do Rio Paraíba do Sul, em função da necessidade de desmatamento e da retirada de material mineral, possui ação ambientalmente impactante, que vem sendo objeto de atenção da Secretaria de Estado do Meio Ambiente-SMA, no sentido de se buscar formas de conciliar a necessidade de realização dessa exploração com a proteção ambiental desse ecossistema.

Apesar dos problemas ambientais gerados, essa atividade é necessária para atender a demanda de materiais necessários à construção civil. Situada na região leste do Estado de São Paulo, a porção paulista do Rio do Paraíba do Sul é responsável por 5% de total de areia para construção produzida no Brasil, constituindo-se na maior região produtora do país. Representa também 25% de toda a produção areeira do estado. Atualmente a produção de areia, realizada pelos 120 portos de areia existentes no Médio Vale do Paraíba, é responsável por 70% da areia utilizada nos municípios do grande ABC, correspondente a 1,2 milhões de metros cúbicos por mês e que equivalem ao transporte de 2.500 caminhões por dia (SILVA; ARAUJO NETO, 2003).

Estimativas do Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM) para o Médio Vale do Paraíba aponta o valor econômico da distribuição mineral como 75% representado pelos minerais “in natura”, sendo desse total 60% correspondente às areias (BITAR, 1997).

Após a exaustão da jazida, dependendo do formato dado ao empreendimento durante a exploração da areia, a área poderá ser utilizada de diversas maneiras, para diferentes fins, existem atualmente locais de usos variados, bastante conhecidos da população, que provavelmente desconhece que todos eles derivaram de antigos portos de areia, como a raia

olímpica da USP, o restaurante Recanto Gaúcho na rodovia Regis Bittencourt (BR-116), além de inúmeros campings e pesque-pagues (SILVA; ARAUJO NETO, 2000).

Na reforma da Constituição Brasileira, promulgada em outubro de 1988, define no parágrafo 2º do artigo 225 que aquele que explorar recursos minerais fica obrigado a recuperar o meio ambiente degradado, de acordo com a solução técnica exigida pelo órgão público competente, na forma da lei. O Decreto Federal nº 97.632, de 10/04/89, regulamentou a recuperação das áreas degradadas estabelecendo critérios para as diferentes formas de manejo. Com base na legislação federal, a Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, editou a Resolução SMA nº 18, em 23/10/1989 estabelecendo um roteiro básico para a elaboração do PRAD - Plano de Recuperação da Área Degradada (SILVA; ARAUJO NETO, 2003).

Por sua vez, a Resolução SMA nº 42/96, estabeleceu, para obtenção do licenciamento ambiental, várias medidas para a recuperação dessas áreas, de acordo com o tipo de impacto ocorrido, principalmente a revegetação das áreas degradadas com espécies nativas definindo as normas que devem ser utilizadas na instalação dos projetos de revegetação (SILVA; ARAUJO NETO, 2003).

Em função da necessidade de se contribuir na recuperação das áreas impactadas pela extração de areia, empresários da região do Médio Vale do Paraíba, que atuam nesse setor, estão considerando que a mineração deve atuar igualmente, tanto no processo extrativo como no processo de recuperação da área minerada, atenta a todos os aspectos relativos às normas de controle ambiental, desde que baseadas em fundamentos técnicos, funcionais e racionais, estando cientes de que, com um procedimento diferente desse, os obstáculos encontrados para continuar o exercício de suas atividades serão cada vez maiores (SILVA; ARAUJO NETO, 2000).

A maioria das empresas que atuam na exploração mineral de areia no município de Taubaté e região está aplicando as normas exigidas pela legislação. Especificamente a empresa “Cinco Lagos” de Tremembé está desenvolvendo trabalhos de reflorestamento há mais de dez anos, de acordo com o estabelecido na Resolução da Secretaria do Meio Ambiente SMA nº 42. A empresa “Cinco Lagos” possui áreas em que foram realizados projetos de reflorestamento com idades de 1,5; 3,5; 5,5; 6,5; 8 e 11 anos.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 - Degradação ambiental

No Brasil as ações antrópicas iniciaram-se ao longo do litoral e evoluíram em direção ao interior, particularmente na Mata Atlântica um dos principais biomas tropicais do mundo. De modo geral, os remanescentes florestais deste bioma encontram-se no estágio de sucessão secundário, fragmentados, alterados e empobrecidos em relação a sua composição original. Ainda que alterado esse bioma é um valioso recurso natural renovável, possível de ser utilizado pelas gerações presentes e futuras (SOUZA et al.; 2002).

A abordagem biológica comumente trata de aspectos relacionados à evolução de ecossistemas. Cairns (1986) considera o conceito de perturbação ou distúrbio como alteração resultante de atividades antrópicas e que não pode ser corrigida rapidamente, citando três situações influenciadas pelo caráter temporal: os distúrbios súbitos e inesperados, como os decorrentes de acidentes ou falhas de origem tecnológica em processos industriais; os distúrbios que ocorrem durante período de tempo significativo, mesmo que tenham sido detectados apenas recentemente, como os derivados de descargas de efluentes industriais; e os distúrbios planejados, como aqueles referentes à mineração em superfície.

Uma terminologia semelhante é adotada no campo geomorfológico e do paisagismo por Hadley e Toy (1987) que consideram o conceito de perturbação ou distúrbio, porém numa perspectiva espacial correlacionando-o com os efeitos geomórficos produzidos na paisagem por diferentes atividades antrópicas como mineração em superfície, urbanização, paisagem, agricultura, usos recreativos e construção civil. Reconhecem que muitos desses distúrbios tem

importância menor ou são transitórios e que a paisagem pré-existente pode ser recuperada para uma forma aceitável de produtividade e em conformidade com um plano de uso prévio.

Com relação às atividades de mineração, Willian et al. (1990), admitem um conceito relacionado aos aspectos biológicos, edafológicos e hídricos afetados pela atividade extrativa, considerando que “a degradação de uma área ocorre quando a vegetação nativa e a fauna foram destruídas, removidas ou expulsas; a camada de solo for perdida, removida ou enterrada; e a qualidade e regime de vazão do sistema hídrico for alterado”.

Considerando o solo quanto ao uso agrícola, Lal et al. (1989) diferenciam processos e fatores de degradação do solo, em que os primeiros correspondem às ações e interações químicas, físicas e biológicas que afetam a capacidade de auto-regulação do solo e sua produtividade e os segundos compreendem os agentes e catalisadores naturais ou induzidos pelo homem, que colocam em movimento os processos e causam alterações nas propriedades do solo e nos seus atributos de sustentação da vida. Entre os processos de degradação do solo induzidos pelo homem citam a compactação, erosão acelerada, desertificação, salinização, lixiviação e acidificação. Entre os fatores, mencionam a agricultura, indústria e urbanização. Citam que as alterações produzidas pelos processos geram, entre outros aspectos, efeitos negativos sobre a qualidade ambiental, estabelecendo, então, a relação com o conceito de solo enquanto espaço geográfico e, assim, o sentido amplo de degradação do solo.

As normas legais mais abrangentes expressam o conceito de degradação da qualidade ambiental como a “alteração adversa das características do meio ambiente” (Artigo 3º, inciso II da Lei Federal 6.938/81) e, no caso de mineração, a degradação como os “processos resultantes de danos ao meio ambiente, pelos quais se perdem ou se reduzem algumas de suas propriedades, tais como a qualidade ou capacidade produtiva dos recursos ambientais” Decreto Federal 97.632/89, que estabelece a exigência do Plano de Recuperação de Áreas

Degradadas - PRAD, para as atividades de mineração. A combinação desses conceitos é muito próxima à definição de degradação do solo contida na ABNT (1989).

2.1.2 - Restauração ambiental

Down e Stocks (1977) consideram o termo restauração apropriado ao contexto da mineração, compreendendo as atividades que visam recriar a topografia original e restabelecer as condições prévias de uso do solo, sendo que qualquer outra alternativa corresponderia à recuperação.

A impossibilidade de retorno da superfície minerada à situação original é admitida por Cairns (1986), considerando as seguintes opções a partir de um ecossistema degradado e segundo o grau de recuperação desejado: restauração, representando uma situação relativamente próxima das condições iniciais do ecossistema, porém em um grau intermediário; reabilitação diz respeito ao alcance de algumas das condições iniciais e em um grau superior à restauração; e o desenvolvimento do ecossistema original, porém no mesmo grau da restauração. Usa também os termos reparação, recuperação e regeneração admitindo que embora a opção de abandono da área degradada possa tender, com o tempo, à estabilização, ocorrerá em condições muito distantes da original e em grau muito inferior às demais possibilidades.

A norma técnica NBR 13030, (ABNT, 1993) editada no início dos anos 90, contempla exclusivamente o conceito de reabilitação, definindo-o como o “conjunto de procedimentos através do qual se minimizam os impactos bióticos e abióticos causados pelas atividades de mineração, de acordo com um planejamento pré-estabelecido”.

2.1.3 - Reflorestamento no Brasil

A recuperação de ecossistemas florestais degradados é um caminho cada vez mais requerido dentro do atual quadro de redução das florestas paulistas. No entanto, os métodos aplicados para essa recuperação se fundamentam em idéias muito divergentes e, em geral, refletem objetivos também diversos. Muitas das divergências metodológicas entre propostas de recuperação residem na incorreta comparação de que os projetos visam atingir objetivos distintos, como aqueles voltados para o manejo da formação ciliar, visando sistemas de produção, outros voltados à reabilitação dessas áreas ciliares e os que objetivam a própria restauração dessas formações (RODRIGUES; GANDOLFI, 1996).

Os primeiros plantios mistos de espécies nativas, de domínio público, porém não bem divulgados como métodos científicos, foram os da Tijuca, no Estado do Rio de Janeiro realizado em 1866 e o de Itatiaia realizado em 1862 (KAGEYAMA; GANDARA, 2000). Numa segunda fase, com publicações de métodos de plantio e de resultados, foi o reflorestamento de Cosmópolis - SP, entre 1955 e 1960, onde se plantou 71 espécies nativas e exóticas em local que desde 1900 permanecia desmatado as margens da Cachoeira do Funil, onde as terras não eram mais utilizadas para o cultivo da cana-de-açúcar. Esse projeto teve como objetivo reconstruir a fisionomia da mata original além de fornecer alimento a ictiofauna (NOGUEIRA, 1977).

A partir da década de setenta, foram efetuados os primeiros plantios pela Companhia Energética do Estado de São Paulo (CESP), ao redor de reservatórios de usinas hidrelétricas. Nesta mesma época, as empresas de mineração iniciaram seus trabalhos de recuperação, com o uso de espécies nativas (GISLER, 2000).

Nos anos referentes à década de noventa, foi observado um aumento das iniciativas de recuperação de áreas degradadas, principalmente de matas ciliares. Esse aumento deveu-se basicamente a dois fatores: conscientização da sociedade e exigência legal (KAGEYAMA; GANDARA, 2000).

Nas últimas décadas, diversas publicações foram elaboradas com a finalidade de orientar plantios para a recuperação de áreas degradadas, principalmente de mata ciliar (BARBOSA, 1989, SALVADOR, 1989, SALVADOR; OLIVEIRA, 1989, DURIGAN; NOGUEIRA, 1990, BARBOSA, 2000, RODRIGUES; GANDOLFI, 2000, DURIGAN et al., 2001).

Apesar de existirem muitos modelos de repovoamento florestal heterogêneo com espécies nativas para recuperação de áreas degradadas, nenhum deles pode ser considerado ideal para todos os casos de degradação em todas as regiões, devido ao grande número de variáveis possíveis de interferir no desempenho das espécies, em um determinado local ou modelo (BARBOSA, 2000).

2.1.4 - Regeneração natural

A regeneração natural pode ser definida como sendo o processo evolutivo da vegetação até a formação de uma floresta, após perturbações (PONGGIANI, 1989). É, portanto, parte do ciclo do crescimento da floresta e refere-se às fases iniciais do seu estabelecimento (BONGERS, 1995).

O estudo sobre a regeneração natural de fragmentos florestais iniciou-se em Burma, na Índia, no final do século XIX, porém o número de trabalhos nessa linha de pesquisa somente

teve incremento significativo depois da realização da “Conference of State Forest Officers” em 1914 (JARDIM; HOSOKAWA, 1987).

O termo “regeneração natural” tem um conceito de avaliação muito amplo. Para Finol (1971) todos os descendentes de plantas arbóreas que se encontram entre 0,10 m de altura até o limite de 10 cm de Diâmetro à Altura do Peito (DAP) são definidos como indivíduos de regeneração natural. Rollet (1978) e Volpato (1994) consideraram como regeneração natural todos os indivíduos com DAP inferior a 5 cm. Rollet (1978) considera ainda como regeneração as fases juvenis das espécies, onde cada classe diamétrica se constitui em regeneração da fração do povoamento da mesma espécie com diâmetro superior a essa classe.

O surgimento e estabelecimento da regeneração natural em florestas tropicais estão relacionados a fatores condicionantes como: a fenologia, a dispersão de sementes, as condições adequadas de umidade, temperatura, oxigênio e luz (YARED, 1996.) Entretanto, a dinâmica da regeneração natural vai depender também da extensão e do tipo de perturbação, da proximidade onde se encontram as fontes produtoras de propágulos, da disponibilidade de agentes dispersores, da herbivoria de plântulas, da competição com gramíneas agressivas Toriola et al. (1998), das condições microclimáticas, dos aspectos físicos e químicos do solo e da compactação do mesmo Parrota (1993) e Holl e Kappelle (1999).

A regeneração natural é a base para a sobrevivência e desenvolvimento do ecossistema florestal. Estudá-la possibilita o conhecimento da relação entre espécies e da quantidade destas na formação do estoque da floresta, bem como suas dimensões e distribuição na comunidade vegetal, oferecendo dados que permitem previsões sobre o comportamento e o desenvolvimento da floresta no futuro (CARVALHO, 1982), e oferecendo ainda, subsídios para o desenvolvimento de planos de manejo adequados à conservação das florestas (BLANCHARD; PRADO, 1995).

Alguns trabalhos de fitossociologia começam a dar ênfase à regeneração natural Durigan e Nogueira (1990), Rodrigues (1991), Imaña-Encinas (1995), no entanto, a maioria dos trabalhos considera uma ou poucas espécies, não havendo uma padronização quanto ao tipo de parcelas usadas no levantamento, qual o DAP considerado na amostragem dos indivíduos adultos e da regeneração, o que dificulta ainda mais a comparação dos poucos resultados disponíveis sobre o tema.

2.1.5 - Uso de indicadores de qualidade de solo no monitoramento de processo de recuperação de áreas degradadas

Um aspecto a se considerar refere-se à adoção de valores de referência para a interpretação quantitativa das variáveis utilizadas no monitoramento da recuperação de áreas drasticamente alteradas. Estudos deste gênero têm adotado como referência os valores obtidos em uma área onde as características geopedoclimáticas e de vegetação semelhantes àquelas que a área possuía antes da degradação ou que se coloca como objetivo final do processo de recuperação (GRIFFITH, 1992).

As florestas primárias são consideradas ecossistemas vegetais em equilíbrio ou em condição ideal de preservação ambiental, podendo também servir de referencial para comparação com áreas desmatadas, alteradas antropicamente ou em processos de degradação. O estado de equilíbrio dos parâmetros de fauna, flora e edáficos desses ecossistemas poderão ser utilizados para a avaliação dos níveis de impacto em áreas que foram utilizadas em algum sistema exploratório (FEARNSIDE, 1993).

É importante caracterizar numericamente os indicadores de impacto em áreas de cobertura vegetal natural em equilíbrio, pois poderão servir de referência para avaliação dos níveis de degradação do solo para áreas de exploração vegetal ou mineral (FEARNSIDE, 1995).

As pesquisas relativas ao monitoramento do processo de recuperação de áreas drasticamente alteradas, como, por exemplo, as decorrentes de atividade minerária no Brasil, ainda não permitem que se tenha uma visão crítica a respeito da principal limitação do processo e de quais indicadores a serem utilizados para que possam, de maneira rápida e eficiente, fornecer informações sobre a evolução do potencial produtivo e de sustentabilidade do ambiente em recuperação. Considerando-se o monitoramento de uma maneira global, a qualidade do solo, ou substrato remanescente, passa a ser um componente a mais na complexa rede de condicionantes da qualidade ambiental. Assim, além do uso de variáveis que reflitam os processos e propriedades do solo, a visão holística certamente demanda a inclusão de indicadores biofísicos e sócio-econômicos para refletir a qualidade e o potencial de sustentabilidade do ambiente (MASCHIO, 1992).

No estudo da ciclagem de nutrientes, a quantificação das reservas minerais e orgânicas e suas transferências entre compartimentos são de extrema importância para entender e comparar os diferentes ecossistemas e suas inter-relações com o meio. No ecossistema florestal, essas reservas acumulam-se na vegetação, nos animais, na serapilheira e no solo. Este último, além de servir como substrato para a vegetação, constitui importante compartimento de onde é retirada a maior parte dos nutrientes necessários à sobrevivência das plantas (MEGURO et al., 1979).

Um dos indicadores biológicos que pode ser considerado na avaliação do impacto pelo desmatamento com subsequente recomposição florestal é a ciclagem de nutrientes através da camada de serapilheira. Esse estudo é realizado através da determinação do peso seco,

composição química e porcentagem de recobrimento do solo correlacionando com as condições nutricionais da porção superficial do solo em diferentes condições de topografia e cobertura vegetal. O peso seco e a composição química da serapilheira são parâmetros importantes na comparação de ecossistemas, já que as diferentes coberturas vegetais formam serapilheira em quantidade e qualidade diferentes, implicando em resultados diferentes na fertilidade do solo (BARBOSA et al., 2000).

A quantidade de carbono orgânico e matéria orgânica do solo são também indicadores que podem ser utilizados para avaliar a atividade microbiana nos diferentes ecossistemas, bem como a influência da cobertura vegetal na produção de matéria orgânica, a qual, correlacionada com a composição química da serapilheira, também nos fornece um indicativo da velocidade de decomposição da mesma (FEARNSID, 2000).

O aspecto mais estudado na ciclagem de nutrientes de um ecossistema florestal é a produção e decomposição de folhedo, bem como a qualificação e a quantificação de nutrientes que retornam ao solo através desse folhedo. O folhedo ou serapilheira é constituída por folhas, ramos, caules, flores, frutos, cascas, além de dejetos e restos de animais (RODRIGUES; LEITÃO FILHO, 2000). Sua produção e decomposição representam a dinâmica no fluxo de matéria e energia entre os diversos compartimentos de um ecossistema, permitindo assim, avaliar o seu funcionamento (PHILLIPSON, 1970).

A ciclagem de nutrientes refere-se à transferência dos minerais acumulados na biomassa vegetal para o solo, adicionados, principalmente, através da queda de resíduos da parte aérea que irá formar a serapilheira e de sua posterior decomposição, sendo reabsorvidos pela planta ou por outros organismos do sistema (KRAMER; KOZLOWSKI, 1960, FASSEBENDER, 1993, GAMA-RODRIGUES, 1997, BARBOSA, 2000).

Em florestas tropicais, o acúmulo da serapilheira sobre o solo, torna mais importante o estudo de aspectos da ciclagem de nutrientes, pois a nutrição dos vegetais destes ecossistemas, geralmente com baixos conteúdos de nutrientes no solo, depende de sua reciclagem (CITADINI-ZANETTE, 1995) que desempenha papel fundamental na circulação de nutrientes e nas transferências de energia entre as plantas e o solo (MEDWECKA-KORNAS, 1970), funcionando como combustível para os ciclos de nutrientes nos horizontes superiores do solo.

O processo de decomposição da serapilheira mantém a funcionalidade do ecossistema, possibilitando que parte do carbono incorporado na biomassa vegetal retorne à atmosfera como CO₂ e outra parte, juntamente com os elementos minerais, seja incorporada ao solo (OLSON, 1963; ODUM, 1969).

A vegetação devolve nutrientes ao solo através da circulação de matéria que é representada pela deposição de serapilheira, galhos grossos e troncos e pela morte de raízes principalmente as finas (VOGT et. al.; 1986).

Segundo Cole e Rapp (1980), a serapilheira é a principal via de transferência de carbono, nitrogênio, fósforo e cálcio o potássio é devolvido principalmente através da precipitação interna e o magnésio é variável entre as diferentes florestas.

A entrada de nutrientes no ecossistema por processos naturais também se dá através da chuva, da deposição de poeira e dos aerossóis, por fixação microbológica, acima e abaixo do solo, e por intemperização da rocha matriz. As perdas de nutrientes, por sua vez, ocorrem pelo escoamento superficial da água, pela lixiviação profunda, volatilização e pelo deflúvio. A perda de biomassa devido à colheita florestal, queimadas e desmatamento pode aumentar significativamente as perdas de nutrientes. No caso de plantações florestais, geralmente em solos já degradados, a adição de nutrientes pela água da chuva e a ciclagem biogeoquímica têm grande importância na manutenção da produtividade ao longo do tempo (VITAL, 1996).

De modo geral, o clima controla o processo de decomposição em escala regional, enquanto a composição química domina o processo em escala local variando em função do gradiente altitudinal e condições edáficas (BERG, 2000).

Para Cunha et al. (1993) em Floresta estacional decidual a serapilheira tem pequena variação nas concentrações de nutrientes durante um ciclo anual. O fornecimento de nutrientes está ligado diretamente à quantidade de serapilheira produzida ao longo do ano sendo as folhas a principal fornecedora de nutrientes.

No que se referem às florestas diversificadas tropicais, estudos na América Central efetuados por Golley et al. (1978) e na Venezuela por Herrera et al. (1978), tem levado em conta a dinâmica de nutrientes minerais no ecossistema florestal natural, bem como as alterações advindas do corte e queima da floresta pelo homem.

Nesses ambientes a matéria orgânica representa um componente de importância vital para a maioria dos processos funcionais que ocorrem no solo (GOSZ et al., 1976), sendo que a maior contribuição para a formação das camadas húmicas do solo da floresta é dada pela ciclagem dos detritos vegetais que caem da própria floresta sobre a superfície do solo (MEDWECKA-KORNAS, 1970, SINGH, 1968).

O estudo da influência da serapilheira no ciclo da matéria orgânica e na dinâmica de nutrientes também pode ser feito pela quantificação do carbono no solo. Embora o conteúdo de carbono na biomassa seja freqüentemente avaliado pelos ecologistas, pouco é conhecido sobre a quantidade total de carbono armazenado no solo (SCHLESINGER, 1977, VOLKOFF; CERRI, 1981).

A escolha dos indicadores de qualidade a serem utilizados é fundamental para o sucesso de pesquisa nessa área. Critérios previamente estabelecidos em função das características e do estágio de desenvolvimento do ecossistema devem ser utilizados na escolha. Considerando-se o processo de formação de solo a partir de um substrato, o

incremento de formas lábeis de carbono e da disponibilidade de nutrientes nas camadas superficiais (0-2,5 e 2,5-7,5 cm) tem se mostrado efetivo para a avaliação da fase inicial do processo de recuperação. Com o estabelecimento gradual de um processo de ciclagem biogeoquímica, a disponibilidade de nutrientes vai perdendo sensibilidade em detrimento de formas menos lábeis de carbono orgânico e variáveis relacionadas com aqueles processos. A massa microbiana, os quocientes microbiano e metabólico, a diversidade da entomofauna e da microbiota e a atividade de algumas enzimas do solo são indicadores comumente relacionados com a ciclagem de nutrientes entre os diferentes compartimentos do sistema (TANNER et al., 1998).

Tomando-se o processo de formação de solo como um componente básico para a recuperação de áreas drasticamente alteradas, a avaliação de características físicas do solo pode contribuir significativamente para o monitoramento da recuperação ambiental. Áreas drasticamente alteradas tendem a apresentar substratos com elevado valor de densidade, quer seja pela inversão de horizontes e elevado trânsito de máquinas (situações comuns em atividades minerárias) como pela eluviação de argila decorrente da exposição de materiais do substrato remanescente com baixo grau de estruturação. A formação e a estabilidade de agregados durante o processo pedogenético estão diretamente relacionadas com o aporte de material orgânico ao substrato. Assim, além da densidade, a estabilidade de agregados em água e a porosidade do solo são variáveis importantes no acompanhamento do processo de recuperação ambiental (FORNASARI FILHO, 1995).

Martos et al. (1992) e Bahia; Ribeiro (1994), sugerem um conjunto mínimo de indicadores e seus limites de sustentabilidade, para ser usado como um guia na avaliação da qualidade de solos da região do cerrado. Consideram também que deve ser usado um conjunto mínimo de indicadores, com metodologia padronizada, para facilitar a comparação, mas deve-

se, também, selecionar indicadores locais que melhor atendam às especificidades da área em estudo.

Para Lal et al. (1989), o aspecto biológico, pode ser usado como indicador e monitoramento da qualidade do solo.

Santana (2002), também considera que a qualidade do solo depende de suas características intrínsecas, de interações com o ecossistema, do uso e manejo, e de prioridades sócio econômicas. Evidencia a existência de relações entre a qualidade de nossos solos com as práticas agrícolas e de exploração mineraria e enumera os principais indicadores dessa qualidade dividindo em quatro grupos gerais: visuais, físicos, químicos e biológicos.

- **Indicadores visuais:** podem ser obtidos de observações ou de interpretação de fotografias. Exposição do subsolo, mudança de cor do solo, sulcos ocasionais, acúmulo de água, enxurrada, resposta da planta, espécies de ervas daninhas, poeira e deposição são somente alguns poucos exemplos de indicadores potenciais determinados localmente. Evidências visuais pode ser uma indicação clara de que a qualidade do solo está sendo melhorada ou piorada.

- **Indicadores físicos:** são relacionados ao arranjo das partículas sólidas e dos poros. Exemplos incluem densidade, porosidade, estabilidade de agregados, textura, encrostamento, resistência do solo e compactação. Indicadores físicos refletem primariamente limitações para o desenvolvimento radicular, emergência de plântulas, infiltração, movimento e retenção de água no perfil.

- **Indicadores químicos:** incluem medições de pH, salinidade, matéria orgânica, disponibilidade de nutrientes, capacidade de troca de cátions, ciclagem de nutrientes e concentração de elementos que podem ser potencialmente contaminantes (metais pesados, compostos radioativos, etc) ou aqueles que são essenciais para o crescimento e o

desenvolvimento das plantas. As condições químicas do solo afetam, entre outros, a relação solo-planta, qualidade da água, capacidade tamponante, disponibilidade de nutrientes e de água para as plantas e outros organismos, mobilidade de contaminantes, entre outros.

- **Indicadores biológicos:** incluem medições de micro e macrorganismos, suas atividades e subprodutos. Taxa de respiração pode ser usada para medir a atividade microbiológica, especialmente decomposição de matéria orgânica no solo. Ergosterol, um subproduto fúngico, tem sido usado para medir a atividade de organismos que tem um papel importante na estabilidade de agregados do solo. Medições de taxas de decomposição de resíduos de plantas podem também servir como indicadores biológicos da qualidade do solo.

2.1.6 - Efeito da compactação na resistência do solo sobre o crescimento das raízes

O alongamento radicular só é possível quando a pressão de crescimento das raízes for maior do que a resistência mecânica do solo à penetração (PASSIOURA, 1991). Segundo Russel e Goss (1974), a pergunta a ser feita seria qual a impedância mecânica máxima do solo suportável para que não haja prejuízos à produção agrícola. Silva et al. (2002) relatam que um valor de 2 MPa de resistência à penetração do solo tem sido associado a condições impeditivas para o crescimento das raízes e da parte aérea das plantas.

De acordo com Materechera et al. (1992), a resistência mecânica do solo causa aumento do diâmetro das raízes na camada compactada por provocar modificações morfológicas e fisiológicas, específicas a cada espécie ou cultivar, a fim de se adaptarem.

As raízes diminuem de diâmetro para penetrar pequenos poros, pois a resistência mecânica do solo estimula a proliferação de raízes laterais, as quais são mais finas (RUSSEL;

GOSS, 1974). Portanto, existe uma estreita relação entre porosidade do solo e crescimento radicular, com crescimento de raízes maior onde há maior número e continuidade de macroporos (HATANO et al., 1988).

A compactação do solo ocorre com redução de seu volume poroso diminuindo a porosidade total até valores que podem tornar restritivo a aeração dos solos reduzindo a disponibilidade de oxigênio e de água afetando o desenvolvimento das plantas. Os valores de porosidade ideal em geral para os solos se encontram no intervalo de 45-55%. Dados inferiores a 30%, segundo Ballester (1992) são prejudiciais às plantas.

3 OBJETIVOS

3.1 - Geral

O estudo foi realizado com o objetivo de avaliar o estado de recuperação do solo, em áreas impactadas pelo desmatamento e tráfego de veículos pesados para operações de exploração minerária de areia tipo cava, em que foram realizados reflorestamentos com espécies arbóreas nativas, com fragmentos com idades de 1,5; 3,5; 5,5; 6,5; 11 anos e um fragmento de mata ciliar nativa como indicador.

3.2 - Específicos

- Quantificar os teores de nutrientes no solo.
- Quantificar a serapilheira depositada.
- Avaliar o estado de compactação do solo
- Determinar a resistência do solo.
- Avaliar a capacidade de retenção de água.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 - Caracterização do Local de Estudo

Foram estudados cinco fragmentos de reflorestamento com idades de 1,5; 3,5; 5,5; 6,5 e 11 anos e um fragmento de mata ciliar nativa utilizada como indicador em área de exploração de areia no sistema de cava. As áreas utilizadas pertencem à empresa mineraria “Cinco lagos” e encontram-se próximas ao Rio Paraíba do Sul, distantes em média seiscentos metros de sua margem direita nas coordenadas geográficas 23K 04 38 505; UTM 7458 544 e com uma altitude de 536 metros no Município de Tremembé - SP.

A geologia do local, segundo Freire e Novaes (1980), corresponde a planícies de inundação características das margens do Rio Paraíba do Sul, chamadas de várzeas. Constituem-se em áreas de baixada com sedimentos aluvionais recentes e formação nas camadas mais distantes da calha do rio formada por rochas sedimentares saprolíticas, pouco consolidadas do tipo argilito, associada com camadas seqüenciais de pequena espessura de arenito. Os óxidos de ferro, comuns nessas duas formações, são do tipo goethita (óxidos de ferro hidratado) que condiciona cor amarelada às formações.

Os solos, segundo Lepsch (2002) são originários de deposição de materiais transportados por cursos d'água ou trazidos das encostas pelo efeito erosivo da chuva. Podem, em certas épocas do ano, estar encharcadas em consequência da elevação do lençol freático e sofrer inundações periódicas pelo extravasamento da água dos rios. No nível de sedimentação do tipo terraço foi cartografado como Latossolo Vermelho Amarelo (presença de óxidos de ferro hidratado do tipo goethita). Nas faixas da bacia, onde a condição de drenagem é pior,

aparecem os Solos Orgânicos. Solos Aluviais e Gleis Húmicas são encontrados no nível dos aluviões recentes, os primeiros margeando o rio em cristas mais elevadas e, portanto, mais bem drenadas. Já o solo Gleis Húmicas ocorre em depressões de drenagem imperfeita.

O clima da região, classificado por Stetzer (1940), com base na classificação de Köppen, é do tipo Cwa, correspondente a um clima quente com invernos secos da classe C2rB4, que corresponde a um clima úmido, com pequeno déficit hídrico, mesotérmico e com vegetação o ano todo.

4.2 - Caracterização das áreas analisadas

O fragmento com 1,5 anos está localizado em frente aos depósitos e sistemas de coleta e peneiramento de areia da empresa. A figura 1 mostra a área externa do reflorestamento e a figura 2 mostra a sua área interna.



Figura 1 - Vista externa em primeiro plano do fragmento de 1,5 anos com a cava de areia em frente.



Figura 2 - Visualização do interior do fragmento de 1,5 anos.

A faixa com fragmento de 3,5 anos está localizado à direita do centro de administração da empresa em um antigo pátio de carga e manobras. A figura 3 mostra o interior desse fragmento.



Figura 3 - Visualização do interior do fragmento de 3,5 anos.

O fragmento com 5,5 anos está localizado atrás dos depósitos e sistemas de coleta e peneiramento de areia da empresa. A figura 4 mostra a área externa desse fragmento e a figura 5 mostra o seu interior.



Figura 4 - Vista externa do fragmento de 5,5 anos.



Figura 5 - Vista do interior do fragmento 5,5 anos.

O fragmento de 6,5 anos está localizado a frente dos depósitos e sistemas de coleta e peneiramento de areia da empresa em continuação à faixa de 1,5 anos a figura 6 mostra a área externa do fragmento e a figura 7 mostra o seu interior.



Figura 6 - Vista externa do fragmento de 6,5 anos.



Figura 7 - Vista do interior do fragmento 6,5 anos.

A faixa com fragmento de 11 anos está localizado à direita do centro de administração da empresa em continuação à faixa de 3,5 anos. A figura 8 mostra a sua área externa a figura 9 mostra o seu interior.



Figura 8 - Vista lateral do fragmento de 11 anos.



Figura 9 - Bosque e sub-bosque do fragmento de 11 anos.

O fragmento de mata ciliar nativa corresponde a uma área de 120 metros de largura e 600 metros de extensão, com aproximadamente 230 metros da calha do rio Paraíba do Sul. A figura 10 mostra a área externa do fragmento de mata ciliar nativa e a figura 11 mostra o interior do fragmento.



Figura 10 - Vista lateral do fragmento de mata ciliar nativa.



Figura 11 - Bosque e sub-bosque do fragmento de mata ciliar nativa.

A empresa mineraria “Cinco Lagos” utilizou no reflorestamento de seus fragmentos uma tabela com os grupos sucessionais para facilitar a dinâmica no desenvolvimento das mudas (Tabela 1) e trabalhou com uma planilha (Tabela 2) com todas as espécies utilizadas no reflorestamento dos fragmentos.

Tabela 1 – Características do ciclo de vida dos componentes arbóreos dos diferentes grupos sucessionais.

Características	Grupo Sucessional			
	Pioneira	2 ^{ria} inicial	2 ^{ria} tardia	Clímax
Crescimento	Muito rápido	Rápido	Médio	Lento ou muito lento
Madeira	Muito leve	Leve	Medianamente dura	Dura e pesada
Tolerância á sombra	Muito intolerante	Intolerante	Tolerante no estágio juvenil	Tolerante
Regeneração	Banco de sementes	Banco de plântulas	Banco de plântulas	Banco de plântulas
Dispersão das sementes	Ampla (Zoocoria c/ alta diversidade de dispersores), anemocoria a grande distância.	Restrita (barocoria) Ampla (Zoocoria c/ poucas espécies),anemocoria A grande distancia.	Principalmente vento	Ampla (Zoocoria, grandes animais), Restrita (barocoria).
Tamanho das sementes e dos dispersantes	Pequeno	Médio	Pequeno a médio, mas sempre leve.	Grande e pesado
Dormência das sementes	Induzida (foto ou termorregulada)	Sem	Sem	Inata (imaturidade do embrião)
Idade da 1 ^a reprodução	Prematura (1 a 5 anos)	Intermediária (5 a 10 anos)	Relativamente tardia (10 a 20 anos)	Tardia (maior que 20 anos)
Dependência polinizadores específicos	Baixa	Alta	Alta	Alta
Tempo de vida	Muito curto (até 10 anos)	Curto (10 a 25 anos)	Longo (25 a 100 anos)	Muito longo (mais de 100 anos)

Fonte: (KAGEYAMA; GANDARA 2000).

Tabela 2 - Listagem de espécies utilizadas no reflorestamento pela empresa mineraria “Cinco Lagos” em Tremembé-SP

Nome popular	Nome científico	Bioma / ecossistema de ocorrência	Classe Sucessional
Açoita - cavalo	<i>Luehea grandiflora</i>	MM / MC	P
Agulheiro	<i>Seguireia iangsdorffi</i>	MM	P
Albizia	<i>Albizia polycephala</i>	MM / MC	P
Alecrim -de - campinas	<i>Holocalyx balansae</i>	MM / MC	NP
Almecega	<i>Protium spruceanum</i>	MM	NP
Amendoim -do - campo	<i>Pterogyne nitens</i>	MM	P
Angico -da - mata	<i>Parapiptadenia rígida</i> (<i>Anadenanthera rígida</i>)	MM / MC	P
Angico - vermelho	<i>Anadenanthera macrocarpa</i>	MM / MC	P
Araçá - piranga	<i>Eugenia leitonii</i>	MA	NP
Araçarana	<i>Calypttranthes cludiaefolia</i>	MM / MC	NP
Aroeira - brava	<i>Lithraea molleoides</i>	MM / MC	P
Aroeira - preta	<i>Myracrodruon urundeuva</i> (<i>Astronium urundeuva</i>)	MM	NP
Assapuva	<i>Dalbergia variabilis</i>	MC	NP
Cambará -de -lixa	<i>Aloysia virgata</i>	MM	P
Cambará - guaçu	<i>Vermonia polyanthes</i>	MM / MC	P
Cambacá- peixoto	<i>Plinia rivularis</i>	MM / MM	NP
Cambui	<i>Myrciaria tenella</i>	MM / MC	NP
Canafistola	<i>Peltophorum dubium</i> (<i>Peltrophorum vogelianum</i>)	MM / MC	P
Canela - de - veado	<i>Helietta apiculata</i>	MM / MC	P
Caroba - miúda	<i>Jacarandá micrantha</i>	MM / MC	P
Carobão	<i>Sciadodendron excelsum</i>	MM	NP
Casca-d´anta	<i>Rauwolfia sellowii</i>	MM	P
Catereté	<i>Machaerium paraguariense</i>	MM / MC	NP
Cebolão	<i>Phytolacca dioica</i>	MM	P
Chico – pires	<i>Pithecellobium incuriale</i>	MM / MC	P
Coração – de - negro	<i>Poecilanthe parviflora</i>	MM	NP
Correiro	<i>Diatenopteryx sorbifolia</i>	MM / MC	P

Corticeira	<i>Erythrina cristagalli</i>	MM / MC	P
Embaúba - vermelha	<i>Cecropia hololeuca</i>	MM	P
Embrinha	<i>Lonchocarpus campestris</i>	MM	P
Farinha - seca	<i>Albizia hassleri</i>	MM / MC	P
Genipapo	<i>Genipa americana</i>	MM / MC	NP
Grápia	<i>Apuleia leiocarpa</i>	MM / MC	NP
Gravitinga	<i>Solanum granuloso - leprosum</i>	MM / MC	P
Grumixara	<i>Galipea jasminiflora</i>	MM / MC	NP
Guabiju	<i>Myrcianthes pungens</i>	MM / C	NP
Guabiroba – branca	<i>Campomanesia neriflora</i>	MM / MC	NP
Guaiçara	<i>Luetzelburgia auriculata</i>	MM	NP
Guaiuvira	<i>Patagonula americana</i>	MM / MC	P
Guarantã	<i>Esenbeckia leiocarpa</i>	MM	NP
Guaritã	<i>Astronium graveolens</i>	MM / MC	NP
Guatambu	<i>Aspidospema ramiflorum</i>	MM / MC	NP
Guatambu-vermelho	<i>Aspidospema tomentosum</i>	MM	NP
Ingá-quatro-quinas	<i>Ingá uruguensis</i>	MM / MC	P
Ipê - branco	<i>Tabebuia róseo - alba</i>	MM	NP
Ipê - felpudo	<i>Zeyheria tuberculosa</i>	MM / MC	P
Jacaratiá	<i>Jacaratia spinosa</i> (<i>Jacaratia dodecaphylla</i>)	MM / MC	P
Jangada - brava	<i>Heliocarpus americanus</i>	MM / MC	P
Jatobá	<i>Hymenaea courbaril</i>	MM / MC	NP
Jequitibá - vermelho	<i>Cariniana legalis</i>	MM / MC	NP
Louveira	<i>Cyclolobium vecchi</i>	MM / MC	NP
Macaúba	<i>Acrocomia aculeata</i> (<i>Acrocomia sclerocarpa</i>)	MM / MC	NP
Mandioqueiro	<i>Didymopanax morototonii</i>	MM / MC	NP
Marmelinho	<i>Diospyros inconstans</i>	MM	NP
Mutambo	<i>Guazuma ulmifolia</i>	MM / MC	P
Orelha - de - negro	<i>Enterolobium contortisiliquum</i>	MM / MC	P
Pau - d´alho	<i>Gallesia integrifolia</i> (<i>Gallesia gorazema</i>)	MM / MC	P
Pau - pereira	<i>Platycomus regnelli</i>	MM / MC	P

Pau - marfim	<i>Balfourodendron riedellianum</i>	MM / MC	NP
Pau - terra	<i>Quelea jundiahy</i>	MM / MC	NP
Pitanga	<i>Eugenia uniflora</i>	MM / MC	NP
Saguaragi - amarelo	<i>Rhamnidium elaeocarpum</i>	MM / MC	P
Unha-de-vaca	<i>Bauhinia forficata</i>	MM / MC	P

Listagem das espécies arbóreas (nome popular e científico), com a indicação do bioma/ecossistema de ocorrência natural e a classe sucessional a que pertencem.

Biomass / ecossistemas: **MM** = Floresta Estacional Semidecídua, **MC** = Mata Ciliar. Classe sucessional: **P** = espécie pioneira ou secundária inicial, **NP** = Espécie secundária tardia ou clímax.

4.3 - Procedimentos Amostrais

Em cada fragmento foram coletadas 5 amostras de solo nas leiras e entre leiras para as análises físicas e químicas, bem como quantificação da serapilheira em dez pontos escolhidos aleatoriamente. As amostras para avaliação da fertilidade foram coletadas nas camadas 0-10 e 10-20 cm de profundidade após ter sido retirada a camada de serapilheira. A densidade do solo foi determinada somente na camada superficial do solo. Foi usado um anel volumétrico para a coleta de solo figura 12 e um penetrômetro para determinar a resistência do solo figura 13 em cada fragmento estudado.



Figura 12 - Anel volumétrico utilizado no trabalho.



Figura 13 - Penetrômetro utilizado no trabalho.

4.4 - Análises físicas do solo

a) Densidade do solo (D_s): Foi analisada na camada superficial do solo pelo método do anel volumétrico que consiste em se cravar no solo um cilindro de aço retirando-se uma amostra de terra. Em seguida todo o conjunto (terra+cilindro) é secado em estufa à temperatura de 105 a 110°C por 24 horas. O cálculo da densidade do solo é feito dividindo-se o peso de terra seca em estufa pelo volume do cilindro (FERREIRA et al., 1990).

$$\text{Densidade do solo} = \frac{\text{Peso de terra seca em estufa do cilindro}}{\text{Volume do cilindro}} = \frac{\text{gramas}}{\text{cm}^3}$$

b) Densidade das partículas minerais do solo (D_p). Foi determinada pelo método do balão volumétrico. Para essa determinação adiciona-se 20 gramas de Terra Fina Seca em Estufa (TFSE)* em um balão de 50 ml. Em seguida lentamente acrescenta-se álcool anidro até completar o volume do balão e tampa-se. Coloca-se em repouso por um dia e após completa-se o volume de álcool que faltar e que foi utilizado no preenchimento dos micro e nanoporos. Em seguida determina-se todo o volume de álcool gasto nas operações. A densidade das partículas minerais do solo é feita dividindo-se 20 gramas de TFSE pelo resultado da operação de 50 cm³ menos o volume de álcool gasto (V_t).

(*) Terra Fina Seca em Estufa corresponde à terra que passou por uma peneira de 2,00 mm de malha e que foi secada em estufa à temperatura de 105 a 110°C por 24 horas.

$$\text{Densidade das partículas minerais do solo} = \frac{20 \text{ gramas de TFSE}}{50 \text{ cm}^3 - V_t} = \frac{\text{gramas}}{\text{cm}^3}$$

c) Porcentagem da porosidade total: foi determinada utilizando-se da equação de relação de densidades.

$$Pt\% = \left(1 - \frac{\text{Densidade do solo}}{\text{Densidade das partículas}}\right) \times 100$$

d) Resistência do solo: Foi determinada até a profundidade de 60 cm e avaliada através da utilização de um penetrômetro de impacto figura - 13.

Os dados de resistência do solo foram determinados através do teste de resistência do solo à inserção de um penetrômetro.

O princípio do penetrômetro está fundamentado no método de percussão (bate estaca) que tem como base a resistência do solo à penetração de uma haste, após recebimento de um impacto provocado pelo deslocamento vertical de um bloco de ferro colocado na parte superior da haste, através de uma distância conhecida, normalmente 50cm.

São utilizadas duas pessoas na execução da operação de coleta dos dados, sendo uma delas para operar o penetrômetro soltando a peça de ferro de cima para baixo para promover o impacto e a outra para fazer a leitura, anotando o intervalo de penetração da haste, graduada em centímetro.

A avaliação da resistência à penetração do solo com a utilização de um penetrômetro de impacto foi realizada nos fragmentos reflorestados de 1,5; 3,5; 5,5; 6,5; 11 anos e um fragmento de mata ciliar nativa. O princípio do penetrômetro é baseado na resistência do solo à penetração de uma haste metálica com uma ponta em formato afunilado de cone, após recebimento de um impacto provocado pelo deslocamento vertical de um bloco de ferro existente na parte superior da haste percorrendo uma distância conhecida de 50cm. Foram utilizadas duas pessoas na coleta dos dados com uma delas operando o penetrômetro soltando a peça de ferro de cima para baixo, promovendo o impacto, e outra fazendo a leitura e

anotando o valor de penetração da haste que é graduada em centímetros. O cálculo da resistência do solo foi realizado utilizando-se das equações para determinação da resistência do solo pelo método da percussão com a utilização de bate-estaca (JORGE, 1986).

$$R = \frac{M^2 \times H \times 1}{M + P \times S \times \Delta h} \times e \quad R = 42,1 \times e$$

$$M = 3,590 \text{ Kg}$$

$$H = 50 \text{ cm}$$

$$M + P = 6,743 \text{ Kg}$$

$$S = 2,27 \text{ cm}^2$$

e = Número de batidas

Δh = penetração no terreno

Fórmula para determinação da resistência do solo utilizando-se do penetrômetro de impacto.

$$R = \frac{M^2 \times H \times 1 \times 1}{M + P \times e \times S}$$

$$R = 42,1 \times \frac{1}{e} \quad \frac{1}{e} = f \quad R = 42,1 \times f \quad (\text{Kg/cm}^2)$$

$$M = 3,590 \text{ Kg}$$

$$H = 50 \text{ cm}$$

$$P = 3.583,26 \text{ Kg}$$

$$S = 2,27 \text{ cm}^2$$

e = penetração em cm por batida

Sendo:

M = peso do cilindro (kg)

P = Peso da haste (kg)

H = Altura de queda (cm)

S = Área do cone de penetração (cm²)

E = penetração no terreno (cm)

Por estar diretamente relacionada ao crescimento das plantas, a resistência do solo à penetração tem sido o atributo físico priorizado em trabalhos que estudam a compactação do solo (IMHOFF et al., 2000). A resistência à penetração apresenta forte relação com o crescimento radical das plantas (BENGOUGH; MULLINS, 1990, SMITH et al., 1997, HOAD et al., 2001).

Valores críticos de resistência à penetração variam de 1,5 a 4,0 MPa (NESMITH, 1987, ARSHAD et al., 1996, TORMENA et al., 1998, IMHOFF et al., 2000), sendo, em geral, o valor de 2 MPa aceito como impeditivo ao crescimento radical (TORMENA et al., 1998). Em Latossolo Roxo, Mielniczuk et al. (1985) verificaram, em vasos, menor crescimento da parte aérea de soja em resposta à resistência de 3,03 MPa.

Em função da existência de controvérsia na variação dos limites de resistência do solo impeditivas ao desenvolvimento radiculares, apresentados por pesquisadores, Arshad et al., (1996) propuseram uma tabela com classes de valores inferiores às sugeridas por Canarache, (1990) como mostra a tabela 3.

Tabela 3 – Limites de interpretação das determinações das classes de resistência do solo à penetração do penetrômetro.

Classe	Resistência à penetração (MPa)	
	Arshad et al. (1996)	Canarache (1990)
Extremamente baixa	< 0,01	< 1,1
Muito baixa	0,01 – 0,1	1,1 – 2,5
Moderada	1,0 – 2,0	2,6 – 5,0
Alta	2,0 – 4,0	5,1 – 10,0
Muito alta	4,0 – 8,0	10,1 - 15,0
Extremamente alta	> 8,0	> 15,0

Fonte: (ARSHAD et al.; 1996).

e) Umidade gravimétrica (U%): Foi determinada em função da diferença de peso entre uma amostra de terra com a umidade em condições de campo e a amostra após secagem em estufa à temperatura de 105 a 110°C por 24 horas (teor de água). O cálculo foi feito em porcentagem.

$$U\% = \frac{\text{Teor de água.....}}{\text{Peso de terra seca em estufa}} \times 100$$

4.5 - Análises químicas do solo

As condições da fertilidade do solo nas camadas 0- 20 e 20 – 40 cm das parcelas foram avaliadas pela análise dos teores de Matéria orgânica, Carbono, Nitrogênio, Potencial hidrogeniônico, Potássio, Cálcio, Magnésio, Hidrogênio, Alumínio, Fósforo, porcentagem de saturação de bases, soma de bases, capacidade de troca catiônica de acordo com metodologia do Sistema IAC de análise de solo. (FERREIRA et al.,1990).

4.5.1 - Valores de interpretação dos atributos químicos do solo

Para Van Raij et al. (1985), a acidez do solo é consequência da concentração de hidrogênio iônico (H^+) existente no solo. Maior concentração representa maior acidez que possui o efeito de reduzir a capacidade de troca catiônica e diminuir a disponibilidade de nutrientes causando queda na fertilidade do solo. Um outro cátion relacionado à acidez é o alumínio (Al^{+++}) que contribui no aumento do hidrogênio iônico na solução do solo. Esse dois íons são considerados como os cátions ácidos do solo.

Outro atributo químico do solo descrito por Van Raij et al. (1985) diretamente relacionado à acidez é a Porcentagem de Saturação de Bases (V%). Esse parâmetro avalia a concentração, em porcentagem, dos cátions básicos do solo (Ca + Mg + K) em relação ao total de cátions importantes na nutrição das plantas (ácidos + básicos) que é a Capacidade de Troca Catiônica (T). Em função de sua determinação quanto maior o seu valor maior é a

fertilidade do solo e menor será a acidez. Os limites de acidez do solo e saturação de bases foi proposto por Van Raij et al. (1985) é mostrado na tabela 4.

Tabela 4 – Limites de interpretação das determinações relacionadas com a acidez do solo.

Acidez	pH em CaCl ₂	Saturação por Bases	V (%)
Muito alta	Até 4,3	Muito Baixa	0-25
Alta	4,4 a 5,0	Baixa	26-50
Média	5,1 a 5,5	Média	51-70
Baixa	5,6 a 6,0	Alta	71-90
Muito Baixa	> 6,0	Muito Alta	> 90

Fonte: (VAN RAIJ et al. 1985).

Os macronutrientes importantes na nutrição das plantas e que condiciona melhores condições na fertilidade dos solos são o nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre. Com base em pesquisas realizadas pelo Instituto Agronômico de Campinas ao longo de décadas, van Raij et al. (1985) propuseram limites de concentração estabelecendo classes de interpretação que se relacionavam à produção (Tabelas 5 e 6).

Tabela 5 – Limites de interpretações dos teores de potássio e fósforo em solos.

Teor	Produção Relativa	K ⁺ trocável	P – Resina
	Porcentagem	mmol _c /dm ³	mg/dm ³
Muito baixo	0,0 – 70,0	0,0 – 0,7	0,0 – 2,0
Baixo	71,0 – 90,0	0,8 – 1,5	3,0 – 5,0
Médio	91,0 – 100,0	1,6 – 3,0	6,0 – 8,0
Alto	> 100,0	3,1 – 6,0	9,0 – 16,0
Muito Alto	> 100,0	> 6,0	> 16,0

Fonte: (VAN RAIJ et al. 1985).

Tabela 6 – Limites de interpretação de teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} .

Teor	Ca^{++}	Mg^{++}
	mmol/dm ³	
Baixo	0,0 – 3,0	0,0 – 4,0
Médio	4,0 – 7,0	5,0 – 8,0
Alto	> 7,0	> 8,0

Fonte: (VAN RAIJ et al. 1985).

4.6 - Análise da serapilheira

Nos pontos onde foram feitas as amostragens de solo para avaliações químicas e físicas foi coletada a serapilheira acumulada na superfície em uma área de 1 m² nos fragmentos de 1,5; 3,5; 5,5; 6,5; 11 anos e um fragmento de mata ciliar nativa.

O material orgânico foi separado de acordo com as seguintes frações: folhas, estruturas reprodutivas (flores sementes e frutos), galhos ≤ 2 cm de diâmetro e refugo (fragmentos $\leq 2,0$ mm de diâmetro). Após secagem em estufa a 70°C por (78 horas), até o peso constante foram determinados:

- Peso úmido e seco de serapilheira total;
- Umidade gravimétrica da serapilheira total;
- Porcentagens em peso seco das frações: folhas, raízes, sementes, galhos e ramos e fração $< 2,0$ mm.

5 RESULTADOS

5.1 - Avaliação da produção de serapilheira

A quantidade de serapilheira acumulada nos fragmentos de diferentes períodos do reflorestamento pode ser observado na tabela 7 na mesma pode ser observada uma variação em relação aos galhos da serapilheira. As frações de serapilheira foram comparadas entre os fragmentos de diferentes idades (Tabela 8). Não houve diferença estatística significativa entre as frações (ANOVA, $p > 0,01$).

Tabela 7 – Frequência relativa das frações de serapilheira analisadas nos fragmentos de diferentes idades

Períodos	Folhas (gramas)	Galhos (gramas)	Raiz (gramas)	< 2,0 mm (gramas)	Porcentagem %
1,5 Anos	84,16	12,15	1,08	2,61	100
3,5 Anos	67,82	28,15	1,38	2,54	100
5,5 Anos	75,25	21,11	1,97	1,67	100
6,5 Anos	62,76	32,62	2,24	2,38	100
11 Anos	70,15	26,26	1,87	1,72	100
Mata nativa	70,61	21,31	3,87	4,21	100
Média	71,79	23,60	2,07	2,52	100

Tabela 8 - Frações de serapilheira nos fragmentos com diferentes períodos de idade.

Períodos	Folhas (gramas)	Galhos (gramas)	Raiz (gramas)	< 2,0 mm (gramas)	Total (gramas)	Porcentagem %
1,5 Anos	210,54A	30,38B	2,71A	6,52A	250,15A	26,17
3,5 Anos	467,94A	194,24AB	9,48A	17,54A	689,92A	72,17
5,5 Anos	668,77A	187,60AB	17,52A	14,79A	888,68A	92,96
6,5 Anos	599,97A	311,80A	21,41A	22,77A	955,95A	100,00
11 Anos	515,34A	192,91AB	13,72A	12,65A	734,62A	76,85
Mata nativa	336,80A	101,67B	18,47A	20,03A	476,97A	49,89

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de 1% de probabilidade ANOVA

5.2 - Produção de serapilheira e teores de matéria orgânica na camada superficial do solo dos fragmentos

A relação entre o teor de matéria orgânica do solo e a quantidade de serapilheira mantém se em equilíbrio até o período de 6,5 anos a partir daí observa se um ligeiro aumento no teor de matéria orgânica nos fragmentos de 11 anos e de mata ciliar nativa e um declínio na produção de serapilheira nesses fragmentos nas camadas de 0-20cm (Tabela 9).

Tabela 9 – Quantidades de matéria orgânica (%) da camada 0-20 cm e de serapilheira total (kg/m^2) dos fragmentos florestais com diferentes estágios de desenvolvimento.

Fragmentos	% Matéria Orgânica	Serapilheira total (kg/m^2)
1,5	1,9	0,250
3,5	2,5	0,689
5,5	2,3	0,888
6,5	2,4	0,955
11,0	2,7	0,734
Mata	3,9	0,476

O teor de matéria orgânica aumentou nos fragmentos de 11 anos e de mata ciliar nativa e a quantidade de serapilheira teve uma ligeira diminuição nos fragmentos de 11 anos e de mata ciliar nativa como mostra a figura 14.

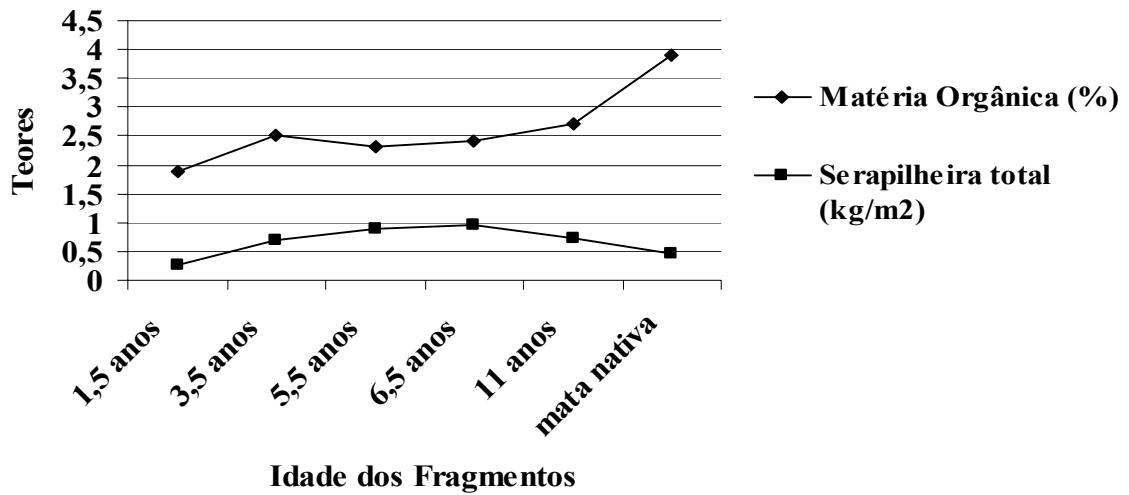


Figura 14 – Relação entre as quantidades de matéria orgânica e de serapilheira nos fragmentos.

5.3 - Análise da variação dos atributos químicos do solo nos fragmentos florestais com diferentes idades e nas profundidades 0-20 e 20-40 cm

Os dados obtidos na tabela 10 mostram pouca ou nenhuma variação dos valores médios do pH para as camadas de 0-20 cm de pH - 4,00 e 20-40 cm de pH - 4,02.

Os teores de fósforo da tabela 10 apresentaram pequeno aumento entre os fragmentos, aumentando conforme a idade.

Em relação ao potássio como mostra a tabela 10 observa-se que não houve uma variação no teor entre os fragmentos analisados.

Com relação à matéria orgânica ocorre um pequeno aumento nos fragmentos de 11 anos de mata ciliar nativa (Tabela 10).

Tabela 10 – Variação dos atributos químicos do solo dos fragmentos florestais nas profundidades 0-20 e 20-40 cm.

Períodos (Anos)	pH VN		M.O. %		P mg/dm ³		K mmol _c /dm ³	
	0-20	20-40	0-20	20-40	0-20	20-40	0-20	20-40
1,5	4,0A	4,1A	1,9B	1,4B	8B	5 B	1,3A	1,0A
3,5	3,9A	3,9A	2,5A	1,4B	11B	8 AB	1,3A	1,0A
5,5	4,0A	4,0A	2,3A	1,7B	15AB	11AB	1,0A	1,0A
6,5	4,1A	4,0A	2,4A	2,1B	32A	21A	1,7A	1,2A
11,0	3,9A	4,0A	2,7A	2,2B	27AB	16AB	1,0A	1,0A
Mata nativa	4,1A	4,1A	3,9A	3,4A	21AB	10AB	1,3A	1,0A

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de 1% de probabilidade

Quanto aos teores de cálcio e magnésio observa-se que também não houve variação entre os fragmentos estudados tabela 11. O cálcio apresentou valores médios na camada 0-20 cm (9,08 mmol_c/dm³) alto e na camada de 20-40 cm (6,17 mmol_c/dm³) médio e com relação ao hidrogênio e alumínio no fragmento de 1,5 anos podem se observar uma disponibilidade mais significativa desses atributos químicos na camada de 0-20 cm já nas nos outros fragmentos a diferença é muito pequena (Tabela 11).

Tabela 11 - Variação dos atributos químicos do solo dos fragmentos florestais nas profundidades 0-20 e 20-40 cm.

Períodos (Anos)	Ca mmol _c /dm ³		Mg mmol _c /dm ³		H+Al mmol _c /dm ³	
	0-20cm	20-40cm	0-20cm	20-40cm	0-20cm	20-40cm
1,5	9,6A	6,0A	3,2A	1,8A	116AB	74C
3,5	10,2A	7,0A	3,4A	2,4A	161A	148AB
5,5	7,2A	4,0A	3,0A	1,8A	100AB	114ABC
6,5	9,8A	7,0A	5,0A	4,0A	131AB	158A
11,0	8,1A	5,0A	3,0A	2,4A	110AB	108ABC
Mata nativa	9,6A	8,6A	3,8A	2,6A	87,8B	77BC

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de 1% de probabilidade

5.4 - Variação dos atributos físicos do solo dos fragmentos florestais nos diferentes períodos de desenvolvimento

O resultado da composição granulométrica (Tabela 12) indica que o solo é de textura média com intervalo de variação na densidade do solo de 1,15 a 1,30 mg/m³ e porosidade total de 45 a 50% e umidade demonstrando disponibilidade de água.

Tabela 12 - Densidade do solo (D), porcentagem da porosidade total (Pt%) e umidade gravimétrica (U%) da camada 0-40 cm do solo nos fragmentos com diferentes períodos de desenvolvimento.

Atributos/Idades	Densidade (Mg m ³)	Porosidade total (%)	Umidade gravimétrica (%)
1,5 Anos	1,28A	47,67A	32,83A
3,5 Anos	1,27A	48,57A	36,10A
5,5 Anos	1,25A	49,31A	33,44A
6,5 Anos	1,18A	52,33A	42,54A
11 Anos	1,14A	57,71A	35,39A
Mata nativa	1,12A	57,39A	41,87A

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de 1% de probabilidade

5.4.1 - Variação da densidade do solo, porcentagem da porosidade total e porcentagem de umidade nos fragmentos nas leiras e entre leiras

Para as operações de plantio das mudas foram formadas leiras no solo na linha de plantio para melhorar a condições da porosidade, disponibilidade de nutrientes e fornecimento de água. As entrelinhas, correspondente ao espaço entre as linhas de plantio, foram chamadas de entre leira. O resultado mostra que nas leiras a densidade foi menor com maior porosidade e menor umidade gravimétrica em relação às entre leiras com uma densidade variando entre 1,11 mg/cm³ nas leiras e 1,23 mg/cm³ nas entre leiras, uma porosidade de 54,96 % nas leiras e 48,14 % nas entre leiras e umidade de 33,60 % nas leiras e 36,60 % nas entre leiras como demonstra a tabela 13. A composição granulométrica do solo dos fragmentos possui na camada de 0 – 20 cm 15,6 % de silte e 48,4% de argila, na camada 20 – 40 cm 14,3% de silte e 52,6% de argila. Com um solo tendo em média de 14,9 % de e 50,5% de argila (Tabela 14). A tabela 15 mostra os valores de referencia para a densidade e porosidade total dos solos.

Tabela 13 – Densidade do solo, porcentagem da porosidade total e umidade gravimétrica da camada superficial nos fragmentos com diferentes períodos de desenvolvimento e nas posições linha (leira) e entre linha (entre leira).

Posição de plantio	D (Mg m ⁻³)	Pt% (Porcentagem)	U% (Porcentagem)
Leira	1,11A	54,96A	33,60A
Entre Leira	1,23A	48,14B	36,60A

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de 1% de probabilidade

Tabela 14 - Composição granulométrica do solo das áreas dos fragmentos reflorestados.

Camadas	% Área total	% Silte	% Argila
0 – 20 cm	36,0	15,6	48,4
20 – 40 cm	33,1	14,3	52,6
Média	34,5	14,9	50,5

5.4.2 - Variação da resistência do solo à penetração nos fragmentos florestais em diferentes profundidades

Analisando as variações da resistência à penetração do solo (Figura 15) observa-se que os valores mais elevados foram encontrados no fragmento com 1,5 anos de desenvolvimento notadamente para a camada abaixo de 30 cm.

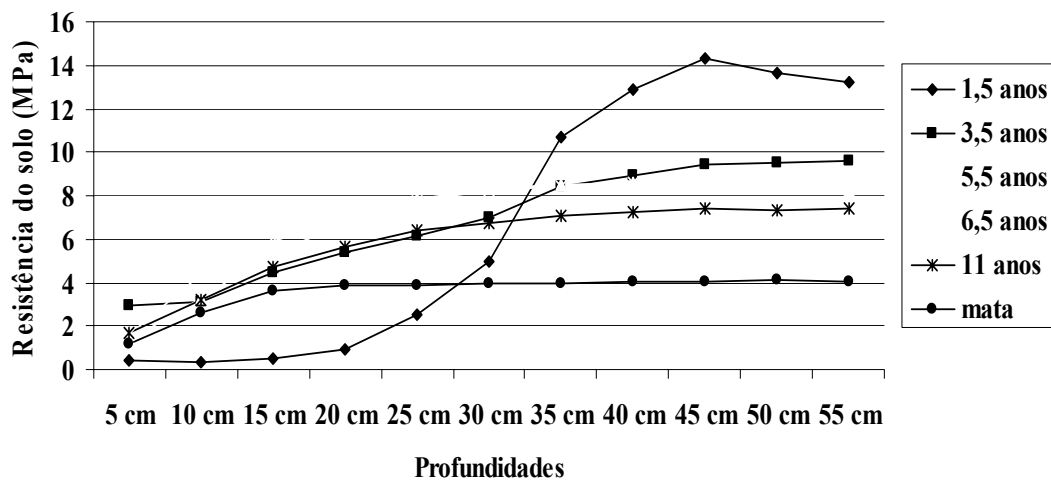


Figura 15 - Variação da resistência do solo em profundidade nos fragmentos florestais.

A tabela 15 mostra a resistência do solo a penetração do penetrometro e que os valores mais elevados foram encontrados no fragmento de 1,5 anos principalmente nas camadas abaixo de 30 cm.

Tabela 15 – Valores da resistência do solo em profundidade dos fragmentos florestais na unidade MPa.

Prof.(cm)	1,5 anos	3,5 anos	5,5 anos	6,5 anos	11 anos	Mata ciliar nativa
5	0,40	2,92	1,36	1,57	1,65	1,16
10	0,33	3,08	3,32	4,40	3,22	2,64
15	0,47	4,48	5,35	5,91	4,68	3,60
20	0,95	5,40	6,64	6,99	5,65	3,84
25	2,56	6,15	7,84	7,71	6,37	3,91
30	5,00	6,97	8,33	8,24	6,75	3,93
35	10,66	8,40	8,48	8,45	7,06	3,97
40	12,92	8,89	8,62	8,56	7,28	4,06
45	14,31	9,45	8,55	8,57	7,45	4,07
50	13,65	9,50	8,32	8,41	7,34	4,11
55	13,23	9,59	8,12	8,26	7,38	4,08

Nesta pesquisa foi estudada a resistência do solo à penetração na camada 0-55 cm para se avaliar o esforço realizado pelo sistema radicular ao crescimento em três fragmentos um fragmento com preparo e manejo do solo: com reposição da camada superficial do solo com uma aração e duas gradagens; um fragmento sem reposição da camada superficial do solo e sem preparo convencional e um fragmento com mata ciliar nativa como indicador do resultado. Observou-se muita resistência do solo no fragmento sem preparo, pouca resistência no fragmento com preparo do solo, em relação ao fragmento de mata ciliar nativa (Tabela 16).

Tabela 16 - Média dos valores da resistência do solo em um fragmento com preparo do solo, um fragmento sem preparo do solo e de mata ciliar nativa (MPa) da empresa mineraria Cinco Lagos.

Profundidade (cm)	Fragmento com preparo do solo	Fragmento sem preparo do solo	Mata ciliar nativa
5	0,00	1,82	1,10
10	0,00	5,46	2,54
15	0,00	9,60	3,57
20	0,00	13,22	3,84
25	0,79	14,18	3,93
30	4,97	14,65	3,95
35	10,41	14,79	3,97
40	13,56	15,00	4,07
45	13,28	14,67	4,10
50	12,85	14,17	4,11
55	11,77	13,68	4,08

6 DISCUSSÃO

A quantidade de serapilheira acumulada nos fragmentos observados mostra que no período 6,5 anos houve equilíbrio na produção de serapilheira e matéria orgânica quando comparados aos fragmentos de 11 anos e de mata ciliar nativa. As análises das frações de serapilheira foram comparadas entre os fragmentos de diferentes idades demonstrando uma diminuição de serapilheira e um aumento de matéria orgânica nos fragmentos de 11 anos e de mata ciliar nativa.

Com base nos dados obtidos observou-se que, a partir do fragmento de 6,5 anos, isto é nos fragmentos de 11 anos e de mata ciliar nativa, ocorreu um aumento na produção de matéria orgânica e uma diminuição na produção de serapilheira. Isso pode ter ocorrido devido à dinâmica do desenvolvimento dos fragmentos estudados, onde as plantas pioneiras, que necessitam de muita luz, se desenvolveram com maior velocidade produzindo uma grande quantidade de serapilheira visto que em áreas impactadas ocorre um número muito elevado de espécies pioneiras que possui um crescimento rápido, ciclo de vida curto, e alta produção de biomassa em curto espaço de tempo (MARTINS; RODRIGUES, 1999). Após o desenvolvimento das plantas secundárias tardias ou clímax que ocorreu a partir dos 6 anos houve uma condição maior de sombreamento com menor número de espécies pioneiras ocorrendo uma diminuição na produção de biomassa e de serapilheira e um aumento de matéria orgânica acumulada no solo observada nos fragmentos de 11 anos e de mata ciliar nativa.

A produção de serapilheira em fragmentos florestais está relacionada à idade dos fragmentos e grau de perturbação (DELITTI, 1989, PAGANO, 1989). Por outro lado, as áreas menos perturbadas possuem um pequeno número de espécies pioneiras, apresentando menor

produção líquida de biomassa (LEITÃO *et al.*, 1993). Desta forma, diferenças na produção de serapilheira entre trechos próximos podem estar relacionadas aos diferentes graus de perturbação ou de idade que são encontrados dentro de um mesmo tipo florestal.

Quanto à variação dos atributos químicos do solo os valores de pH considerados adequados para melhor disponibilidade de nutrientes encontram-se no intervalo de 5,5 a 6,0 e os dados obtidos mostram uma variação dos valores médios do pH para as camadas de 0-20 cm de pH 4,00 e 20-40 cm de pH 4,02. Os resultados demonstram que o solo dos fragmentos estudados é relativamente ácido. Na faixa próxima aos terraços, característica da área de estudo, onde a condição de drenagem é pior, aparecem os Solos Orgânicos. A acidez é resultado das características de gênese do solo que por ser de várzea, adjacente ao corpo d'água, é de formação recente por material aluvial transportado pelo rio com teores mais elevados de matéria orgânica que, em seu processo de mineralização, libera hidrogênio iônico reduzindo os valores de pH e aumentando a acidez (PEREZ *et al.*, 1980).

Os teores de fósforo apresentaram significativo aumento entre os fragmentos, aumentando conforme a idade. Isso se deve, provavelmente, ao processo de ciclagem realizado pela decomposição da camada de serapilheira, já que houve adubação mineral somente no plantio das mudas.

A baixa disponibilidade de fósforo nos solos tropicais é uma das causas que mais limita o crescimento e a produção florestal tornando necessário o fornecimento deste nutriente às árvores via fertilização (FRANCO, 1984).

Quanto aos teores de cálcio e magnésio observa-se que também não houve variação entre os fragmentos estudados. O cálcio apresentou em geral valores médios: na camada 0-20 cm (9,08 mmol/dm³) alto e na camada de 20-40 cm (6,17 mmol/dm³) médio.

Com relação ao hidrogênio e alumínio no fragmento de 1,5 anos pode se observar uma disponibilidade mais significativa desses elementos na camada de 0-20 cm já nas nos outros

fragmentos a diferença é muito pequena. Esses resultados demonstram o efeito residual decorrente da calagem realizada no plantio das mudas para a correção do solo.

A compactação do solo pode ser avaliada pela sua densidade, que pode atingir níveis críticos na camada superficial em áreas impactadas pela movimentação de máquinas. A densidade do solo reflete a agregação das partículas e agregados do solo que, por sua vez define as características do sistema poroso de tal forma que todas as manifestações que influenciam a disposição das partículas do solo refletirão diretamente nos valores da densidade do solo. O intervalo de variação em função da textura é de 0,2 a 1,4 Mg/m³, sendo o limite mínimo para solos turfosos e orgânicos com alto teor de matéria orgânica e o máximo para solos argilosos. O aumento nos valores da densidade do solo está relacionado à diminuição de poros e à compactação. A diminuição se reflete na maior capacidade de agregação com aumento na porosidade que favorece a retenção de água, crescimento das raízes, trocas gasosas e atividade microbiana (ALVARENGA; SOUZA, 1998).

Observa-se que os valores de densidade superficial do solo foram menores nas leiras, possivelmente devido ao processo de formação das mesmas onde se concentra uma grande quantidade de terra através da amontoa. O solo das leiras por possuir menor valor de densidade possui maior quantidade de poros que melhora as condições de plantio. Maior porosidade também caracteriza em maior retenção de água, o que ocorreu nas leiras.

Os resultados apresentados na evidencia a inexistência de variação da densidade superficial do solo, porosidade total e umidade entre os fragmentos estudados. O intervalo de variação para a densidade do solo foi de 1,11 mg/m³ nas leiras e 1,23 mg/m³ nas entre leiras, que se encontra dentro do recomendado para solo de textura média. (SEGUY et al., 1984);

Os dados da porosidade de 54,96 % nas leiras e de 48,14 % nas entre leiras estão também de acordo com o intervalo adequado de variação para os solos de textura média citados por Rosolem et al. (1994) que é de 45% a 65%. O intervalo de umidade apresentado

situado entre 33,60 % nas leiras e 42,54 % nas entre leiras demonstra a existência de boa disponibilidade de água conseqüência da presença de apropriada porosidade capilar responsável pela retenção de água (BALLESTERO, 1992).

A composição granulométrica do solo das áreas dos fragmentos reflorestados mostra que o solo possui textura média que facilitou o desenvolvimento das mudas nos fragmentos reflorestados em função da boa porosidade apresentada.

Analisando as variações da resistência à penetração do solo observa-se que os valores mais elevados foram encontrados no fragmento com 1,5 anos de desenvolvimento, notadamente para a camada abaixo de 30 cm, onde não houve o efeito do preparo do solo. O aumento na resistência ocorreu provavelmente devido à compactação sofrida pelo trânsito de veículos e atingindo valores que segundo Arshad et al., (1996) é extremamente alta e de acordo com Canarache (1990) é muito alta. Considerando que os valores acima de 4,0 MPa citado Arshad et al., (1996) e acima de 9,0 por Canarache (1990) é restritivo ao desenvolvimento radicular pode-se afirmar que os valores da resistência do solo abaixo da camada de 30 cm desse fragmento podem prejudicar o desenvolvimento das raízes de algumas espécies utilizadas nos reflorestamentos.

No mesmo fragmento de 1,5 anos observa-se que na camada 5 - 30 cm os valores da resistência do solo são baixos e adequados ao desenvolvimento radicular. Esse resultado foi obtido possivelmente em função das operações de preparo do solo realizadas antes do plantio das mudas, que constaram de uma aração e duas gradagens na profundidade de 0 - 30 cm.

Observou-se uma alta resistência do solo para a condição sem reposição da camada superficial, aração e gradagem em relação às áreas com reposição do solo, aração e gradagem e com o fragmento de mata ciliar nativa correspondente a um fator de acréscimo de 2,95 em relação ao fragmento com preparo e de 3,71 para o fragmento de mata ciliar nativa. O valor médio de resistência em MPa encontrado na área compactada para a camada 0-30 cm foi de

9,82 MPa que segundo Arshad et al, (1996) é extremamente alta e para Canarache, (1990) é alta. No fragmento com preparo e reposição do solo a média foi de 2,88 MPa e para a mata ciliar nativa a média foi de 3,15 MPa, ambas abaixo do valor 4,0 e bem menor que a condição anterior mas que, segundo Canarache (1990) e Arshad et al, (1996) é considerada de moderada a alto e também pode ser prejudicial ao desenvolvimento radicular das árvores utilizadas nos fragmentos reflorestados .

7 CONCLUSÕES

- O reflorestamento referente ao período de 6,5 anos apresentou ponto de equilíbrio na produção de serapilheira e matéria orgânica.
- Em função de possuírem uma taxa de crescimento mais lenta e menor produção de massa verde, as espécies secundária tardia ou clímax produzem menor quantidade de serapilheira explicando os menores valores encontrados para os fragmentos de 11 anos e de mata nativa em que já existe instalada uma grande diversidade dessas espécies.
- A relação entre o teor de matéria orgânica do solo e a quantidade de serapilheira da camada superficial do solo nos fragmentos florestais reflorestados possui um equilíbrio até o fragmento de 6,5 anos nos fragmentos de 11anos e de mata ciliar nativa ocorre aumento no teor de matéria orgânica e redução na quantidade de serapilheira, esse aumento pode ser decorrente do efeito acumulativo da matéria orgânica no solo através de compostos orgânicos mais resistentes à decomposição e responsáveis pela formação do húmus.
- Em função da acidez elevada e porcentagem de saturação em bases muito baixa, os solos dos fragmentos florestais estudados são classificados como distróficos e possuem baixa fertilidade.

- Os teores dos nutrientes: cálcio, potássio, fósforo e magnésio apresentaram-se médios para cálcio e magnésio, alto para o fósforo e baixo para o potássio. Os valores mais elevados para o cálcio, magnésio e fósforo devem se decorrentes dos efeitos residuais da adubação realizada na época do plantio.
- A camada superficial do solo em todos os fragmentos analisados não apresentou problemas relacionados à compactação. Os valores da densidade do solo, porosidade total e retenção de água estão dentro das condições ideais para desenvolvimento das mudas nos fragmentos reflorestados.
- A camada abaixo dos 30 cm de profundidade apresentou restrições ao desenvolvimento radicular evidenciado pelo elevado valor da resistência do solo, notadamente para o fragmento de 1,5 anos de idade.
- É necessário o preparo primário da camada superficial do solo com a devolução da camada do solo, aração e gradagem para propiciar boas condições de aeração, infiltração de água e diminuição da resistência do solo para o bom desenvolvimento inicial do sistema radicular de mudas.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARENGA, M.I.N.; SOUZA, J.A. **Atributos do solo e o impacto ambiental**. Fundação de Apoio ao Ensino, pesquisa e Extensão. Universidade federal de Lavras, Lavras, 1998. 205p.

ARSHAD, M.A.; LOWERY, B.; GROSSMAN, B. Physical tests for monitoring soil quality. In: Doran, J.W.; Jones, A.J. (Ed.). *Methods for assessing soil quality*. **Madison: Soil Science Society of America**, 1996. p.123-141. SSSA Special Publication, 49.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Degradação do solo terminologia NBR 10.703*. Rio de Janeiro. 1989

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Coletânea de normas de mineração e meio ambiente*. Rio de Janeiro. 1993.

BAHIA, V.G.; RIBEIRO, M.A.V. **Conservação do Solo e Preservação Ambiental**. Lavras, ESAL/FAEPE, 1994. Curso de Especialização por Tutoria à Distância – Solos e Meio Ambiente, Minas Gerais, 1994.

BALLESTERO, S.D. **Efeito da semeadura do milho em quatro níveis de umidade na compactação de um Latossolo Vermelho Amarelo**. Tese de doutorado. ESALQ/USP. 1992.

BARBOSA L.M. (Coord.) **Ensaio para o restabelecimento de modelos para recuperação de áreas degradadas de mata ciliar em Mogi-Guaçu-SP**. Campinas. Fundação CARGILL, 1989. 335p.

BARBOSA, J. H. C. **Dinâmica da serapilheira em estágios sucessionais de Floresta Atlântica Reserva Biológica de Poço das Antas – RJ**. 2000. 202p. Tese de Mestrado, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2000.

BARBOSA, R.I.; FEARNSIDE. Erosão do solo na Amazônia: Estudo de caso na região do Apiaú, Roraima, Brasil. **Acta Amazônica**. v. 30, n. 4, p. 513-534. 2000

BARBOSA, L.M. Considerações gerais e modelos de recuperação de matas ciliares. In: Rodrigues, R.R.; Leitão Filho, H. **Matas ciliares**. EDUSP, São Paulo. 2000a, p. 289-311.

BENGOUGH, A. G.; MULLINS, C. E. Mechanical impedance to root growth: a review of experimental techniques and root growth responses. **Journal of Soil Science**. v. 41, p. 341-358, 1990.

BERG, B. Litter decomposition and organic matter turnover in northern forest soil. **Forest Ecology Management**. v. 133, p. 13-22, 2000.

BITAR, O. Y. **Avaliação da recuperação de áreas degradadas por mineração na região metropolitana de São Paulo**. 1997. 193p. Tese de Doutorado. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil, 1997.

BLANCHARD, J.; PRADO, G. Natural regeneration of *Rizophora* mangle in strip clearcuts in Northwest Ecuador. **Biotrópica**. v. 27, n. 2, p. 160-167. 1995.

BONGERS, F. Natural regeneration of natural and semi-natural forest ecosystems. In: Freiberg, H. (Ed). ETFRN News. **Bonn: European Tropical Forest Research Net Work**, 1995. p. 12-18.

CAIRNS JR., J. Restoration, reclamation and regeneration of degrade or destroyed ecosystems. In: Soulé, M.E., (Org). **Conservation Biology**. Sunderland Sinauer, 1986. p.465-484.

CANARACHE, A. Penetrometer: a generalized semi-empirical model estimating soil resistance to penetration. **Soil Tillage Research**. n. 16, p. 51-70, 1990.

CARVALHO, J.O.P. **Inventário diagnóstico da regeneração natural da vegetação em áreas da floresta Nacional do Tapajó no estado do Pará**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1982.

CITADINI-ZANETTE, V. **Florística, fitossociologia e aspectos da dinâmica de um remanescente de mata atlântica na microbacia do Rio Novo, Oleans, SC**. Tese de Doutorado, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 1995.

COLE, D.W.; RAPP, M. Elemental cycling in forested ecosystems. In: Reichle, D.E. (Eds). **Dynamica properties of forest ecosystems**. Cambridge University Press. 1980, P. 341-409.

CUNHA, G.C; GRENDENE, L.A; DURLO, M.A; BRESSAN D.A. Dinâmica nutricional em florestas estacional decidual com ênfase aos minerais provenientes da decomposição da serapilheira. **Ciência Florestal**, Santa Maria. v. 3, n. 1, p. 35-64. 1993.

DELITTI, W.B.C. Ciclagem de nutrientes minerais em matas ciliares. In: Barbosa, L.M. **Simpósio sobre Mata Ciliar**. Fundação Cargill, Campinas, 1989, p. 88-98.

DOWN, C.G.; STOCKS, J. **Environmental impact of mining**. Ed. John Wiley & Sons. New York, 1977. 371p.

DURIGAN, G.; MELO, A.C.G.; MAX, J.C.M.; VILAS BÔAS, O.; CONTIÈRI, W.A. **Manual para recuperação das matas ciliares do oeste paulista**. IF. CINP. São Paulo. SMA, 2001. 16p.

DURIGAN, G.; NOGUEIRA, J.C.B. **Recomposição de matas ciliares**. IF. Série Registros, v. 4, p. 1-14, 1990

FASSEBENDER, H. W. **Sistemas de modelos edafológicos agroforestales**. Centro Agronómico Tropical de Investigación Enseñanza. 2 ed. Turrialba, Costa Rica. 1993. 491p.

FEARNSIDE, P.M. **Deforestation in Brazilian Amazonia**. The effect of population and land tenure. *Ambio*, v. 22, n. 8, p. 537-545. 1993

FEARNSIDE, P.M. **Potential impact of climate change on natural forests and forestry in Brazilian Amazonia**. *Forest Ecology and Management*. v. 78, p. 51-70, 1995.

FEARNSIDE, P.M. Greenhouse gas emission from land use change in Brazil's Amazon region. In: R. Lal J.M. Kimble e B.A. Stuart (Eds). **Global Climate Change and Tropical Ecosystem**. *Advances in Soil Science*. 2000. CRC Press. Boca Raton, Florida. E.U.A. p. 231-249.

FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P.; FERREIRA Jr., M.E. Avaliação da fertilidade empregando o sistema IAC de análise de solo. **Boletim Técnico**. UNESP, Jaboticabal, FCAV, 1990. 94p.

FRANCO, A.A. Fixação de nitrogênio em árvores e fertilidade do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.19, p.253-261, 1984.

FREIRE, M.F.; NOVAES, R.F. Solos de várzeas- características e problemas relativos à fertilidade. **Informe Agropecuário**. Belo Horizonte. EPAMIG. v. 5, n. 65, p. 3-8. 1980.

FINOL, U.H. Nuevos parâmetros a considerarse en el analisis estrutural de las selvas virgenes tropicales. **Revista Florestal Venezuelana**. v. 14, n. 21, p.29-42, 1971.

FORNASARI FILHO, N. **Alterações nos processos do meio físico por mineração: estudo de caso de instrumentos de gerenciamento ambiental.** Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.

GAMA-RODRIGUES, A.C. da. **Ciclagem de nutrientes por espécies florestais em povoamentos puros e mistos, em solo de tabuleiro da Bahia.** Tese de Doutorado. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1997.

GISLER, C.V.T. **Estrutura e função de matas ciliares remanescentes e implantadas em Santa Cruz das Palmeiras-SP.** Tese de Doutorado. Instituto de Biociências. Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2000.

GOLLEY, F.B.; MCGINNIS, J.T.; CLEMENTS, R.G.; CHLD, G.I.; DUEVER, M.J. **Ciclagem de minerais em um ecossistema de floresta tropical úmida.** EPU/EDUSP, São Paulo, 1978.

GOSZ, J.R.; LIKENS, G.E.; BORMANN, F.H. **Organic matter and nutrient dynamics of the forest and forest floor in the Hubbard Brook forest.** *Oecologia*. n. 22, p.305-20, 1976.

GRIFFITH, J.J. O estado da arte na recuperação de áreas mineradas no Brasil. In: **SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS.** 1992. Fupef, Curitiba, p.77-82.

HADLEY, R.F.; TOY, T.J. **Geomorphology of disturbed and reclamation lands.** Academic Press, London, 1987.

HATANO, R.; IWANAGA, K.; OKAJIMA, H.; SAKUMA, T. Relationship between the distribution of soil macropores and root elongation. **Soil Science and Plant Nutrition**. v. 34, n. 4, p. 535-546, 1988.

HERRERA, R.; JORDAN, C.F.; KLINGE, H.; MEDINA, E. Amazon ecosystems: their structure and functioning with particular emphasis on nutrientes. **Interciencia**. n. 3, p. 223-32, 1978.

HOLL, K.D.; KAPPELLE, M. Tropical forest recovery and restoration. **Trends in Ecology and Evolution**. v. 14, n. 10, p. 378-379, 1999.

HOAD, S. P.; RUSSEL, G.; LUCAS, M. E.; BINGHAM, I. J. The management of wheat, barley, and oat root systems. **Advances in Agronomy**. v. 74, p. 195- 254, 2001.

IMAÑA-ENCINAS, J.; PAULA, J.E.; PEREIRA, B.A.S. Fitossociologia dos indivíduos jovens da mata ciliar do córrego Capãozinho. **Revista Árvore**. v. 9, n. 12, p. 157-170, 1995.

IMHOFF, S.; SILVA, A. P.; TORMENA, C. A. Aplicações da curva de resistência no controle da qualidade física de um solo sob pastagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v. 35, n. 7, p. 1493-1500, 2000.

JARDIM, F.C.S.; HOSOKAWA, R.T. Estrutura da floresta equatorial úmida da Estação Experimental de Silvicultura Tropical do INPA. **Acta Amazônica**. v. 16/17, p. 411-508, 1987.

JORGE, J.A. Física e manejo de solos tropicais. **Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola**. 1985. p. 108-116.

JORGE, J.A. Física e manejo de solos tropicais: compactação e subsolagem do solo. **Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola**. 1986. 328p.

KAGEYAMA, P.Y.; GANDARA, F.B. Recuperação de áreas ciliares. In: Rodrigues, R.R e Leitão Filho, H. (Eds). **Matas ciliares: conservação e recuperação**. EDUSP, São Paulo 2000, p. 249-269.

KRAMMER, J. P; KOZLOWSKI, T. **Fisiologia das Árvores**. Fundação Calouste Gulbekian. 1960, 745p.

KIEHL, E.J. **Manual de Edafologia**. Editora Agronômica Ceres. São Paulo, 1979, 262p.

LAL, R.; HALL, G.F.; MILLER, F.P. Soil degradation: I. Basic processes. **Land Degradation and Rehabilitation**. v. 1, n. 1, p. 51-69, 1989.

LEITÃO, F.H.F., PAGANO, S.N., CESAR, O., TIMONI, J.L.; RUEDA, J.J. Ecologia da Mata Atlântica em Cubatão. **EDUNESP/ EDUNICAMP**. São Paulo. 1993.

LEPSCH, I.F. **Formação e conservação do solo**. Oficina Texto, São Paulo. 2002. 177p.

MARTINS, S.V.; RODRIGUES, R.R. Produção de serapilheira em clareiras de uma floresta estacional semidecídua no Município de Campinas, SP. **Revista Brasileira de Botânica**. v. 22, n. 1, p. 405-412. 1999.

MARTOS, H.L.; GIBOTTI JR, M.; MARTOS, M.Y.H.G. Aspectos ambientais, técnicos, sócio econômicos e legais na recuperação de áreas degradadas por portos de areia na região de Sorocaba – SP. In: CONGRESSO NACIONAL SOBRE ESSÊNCIAS NATIVAS, 2, Campos do Jordão, 1992. **Anais...** Campos do Jordão, 1992. p.760-765.

MASCHIO, L.M.A. Evolução, estágio e caracterização da pesquisa em recuperação de áreas degradadas no Brasil. In: SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 1. 1992, Curitiba. **Anais...** Fupef, 1992. p. 17-33.

MATERECHERA, S. A.; ALSTON, A. M.; KIRBY, J. M.; DEXTER, A. R. Influence of root diameter on the penetration of seminal roots into a compacted subsoil. **Plant and Soil**. v. 144, p. 297-303, 1992.

MEDWECKA-KORNAS, A. Litter production. In: Phillipson, J. (Ed). **Methods of Study in Soil Ecology**. Gêneve, UNESCO/IBP, 1970. p. 139-43.

MEGURO, M.; VINUEZA, G.N.; DELITTI, B.C. Ciclagem de nutrientes minerais na Mata Mesófila secundária - São Paulo. Produção e conteúdo de nutrientes minerais no folheto. **Boletim de Botânica da Universidade de São Paulo**. v. 7, p. 11-31, 1979

MIELNICZUK, J.; CARPENEDO, V.; PEDO, F. Desenvolvimento de raízes em solos compactados. **Lavoura Arrozeira**. v. 38, p. 42-43, 1985.

NESMITH, D. S. Soil compaction in double cropped wheat and soyabean on Ultissol. **Soil Science Society of America Journal**. v. 51, p. 183-186, 1987.

NOGUEIRA, J.C.B. Reflorestamento heterogêneo com essências indígenas. Instituto Florestal, São Paulo. **Boletim Técnico**, 24. 1977. 71p.

ODUM, E.P. The strategy of ecosystems development. **Science**. v. 164, p. 262-270, 1969.

OLSON, J.S. Energy storage and the balance of producers and decomposers in ecological systems. **Ecology**. v. 44, p. 322-331, 1963.

PHILLIPSON, J. **Methods of Study in Soil Ecology**. UNESCO/IBP, Gêneve, 1970, p. 139-152.

PARROTA, J.A. A secondary forest regeneration on degraded tropical lands: the role of plantations as “foster ecosystems”. In: Lieth, H. e Lohmann, M. (Eds). **Restoration of Tropical Forest Ecosystems**. Kluwer Academic. The Haque. 1993, p. 63-73.

PAGANO, S.N. Produção de folheto em mata mesófila semidecídua no município de Rio Claro, São Paulo. **Revista Brasileira de Biologia**. v. 3, n. 49, p. 633-639. 1989.

PASSIOURA, J. B. Soil structure and plant growth. **Australian Journal of Soil Research**, v. 29, p. 717-728, 1991.

PEREZ, F, A., DONZELLI, J.L.; LEPSCH, I.F. Relação solos-geomorfologia em várzea do rio Moji-Guaçú. **Revista Brasileira Ciência do Solo**. n. 4, p.181-187, 1980.

PONGGIANI, R.R. Estrutura, funcionamento e classificação das florestas: implicação ecológica das florestas plantadas. **Documentos Florestais**. n. 3, p. 9-14, 1989.

RODRIGUES, R.R. **Análise de um remanescente de vegetação natural às margens do Rio Passa Cinco. Ipeúna, SP**. Tese de Doutorado. Instituto de Biologia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1991.

RODRIGUES, R.R.; GANDOLFI, F. Reposição de florestas nativas: princípios gerais e subsídios para uma definição metodológica. **Revista Brasileira de Horticultura Ornamental**. v. 2, n. 1, p. 4 -15, 1996.

RODRIGUES, R.R.; GANDOLFI, F. Conceito, tendências e ações para a recuperação de florestas ciliares. In: Rodrigues, R.R e Leitão Filho, H. (Org.). **Matas ciliares: conservação e recuperação**. EDUSP, São Paulo, 2000, p. 233-247.

RODRIGUES, R.R.; LEITÃO FILHO, H. **Matas ciliares: conservação e recuperação**. EDUSP, São Paulo, 2000, p. 233-247.

ROLLET, B. **Arquitetura e crescimento das florestas tropicais**. SUDAN, Belém 1978. 22p.

ROSOLEM, C. A.; ALMEIDA, A. C. da S.; SACRAMENTO, L. V. S. do. Sistema radicular e nutrição da soja em função da compactação do solo. **Bragantia**, Campinas. v. 53, n. 2, p. 259-266, 1994.

RUSSEL, R. S.; GOSS, M. J. Physical aspects of soil fertility: the response of roots to the mechanical impedance. **Netherlands Journal of Agricultural Science**. v. 22, p. 305-318, 1974.

SALVADOR, J.G.L. **Considerações sobre as matas ciliares e a implantação de reflorestamentos mistos nas margens de rios e reservatórios**. CESP, São Paulo, 1989. 105p.

SALVADOR, J.L.G.; OLIVEIRA, S.B. **Reflorestamento ciliar de açudes**. CESP, São Paulo, 1989. 123p.

SANTANA, D.P. Qualidade do solo: Uma visão holística. **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**. v. 27, n. 2, p.15-18, 2002.

SCHLESINGER, W. H. Carbon balance in terrestrial detritus. **Annals Review Ecology System**. n. 8, p. 51-81, 1977.

SEGUY, L.; KLUTHCOUSKI, J.; SILVA, J. G. da; BLUMENSCHHEIN, F. N.; DALL'ACQUA, F. M. Técnicas de preparo do solo: efeitos na fertilidade e na conservação do solo, nas ervas daninhas e na conservação de água. **Embrapa-CNPAP**. Goiânia. 1984. 26 p

SILVA, L.A.T.; ARAUJO NETO, E. Vale do Paraíba: a maior região produtora de areia do país. Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados para Construção Civil, São Paulo. **Revista Areia e Brita**. n. 10, p. 4-19, 2000.

SILVA, R. H.; ROSOLEM, C. A. Crescimento radicular de espécies utilizadas como cobertura decorrente da compactação do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 25, p. 253-260, 2002.

SILVA, L.A.T.; ARAUJO NETO, E.A. Revegetação nos empreendimentos minerários do vale do Paraíba Paulista. **Revista Areia e Brita**. n. 19, p. 17- 25, 2003.

SINGH, K.P. Litter production and nutrient turnover in deciduous forest of varanasi. **Proceeding Symposium Recently Advances Tropical Ecology**. n. 17, p. 55-65, 1968.

SOUZA, L.A.; SCHETTINO, S.; JESUS, M. R.; VALE, B. A. Dinâmica da regeneração natural em uma Floresta Ombrófila Densa Secundária, após corte de cipós, reserva natural da companhia Vale do Rio Doce S/A – ES. **Sociedade de Investigações Florestais**. v. 26, n. 4, p. 411-419, 2002.

SMITH, C. W.; JOHNSTON, M. A.; LORENTZ, S. The effect of soil compaction and soil physical properties on the mechanical resistance of South African forestry soils. **Geoderma**. v. 78, p. 93-111, 1997.

STETZER, J. **Contribuição para o estudo do clima do Estado de São Paulo**. Escolas Profissionais Salesianas. São Paulo, 1940.

TANNER, E.V.J.; VITOUSEK, P.M.; CUEVAS, E. Experimental investigation of nutrient limitation of forest growth on wet tropical mountains. **Ecology**. v. 79, n. 1, p.10-22, 1988.

TORMENA, C. A.; SILVA, A. P. da; LIBARDI, P. L. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 22, p. 573-581, 1998.

TORIOLA, D.; CHAREYRE, P; BUTTLER, A. Distribution of a primary forest plant species in a 19-year old secondary forest in French Guiana. **Journal of Tropical Ecology**. v.14, n. 3, p.323-340, 1998.

VAN RAIJ, B; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. **Boletim Técnico 100**. Recomendações de Adubação e Calagem para o Estado de São Paulo. Instituto Agrônomo de Campinas. Campinas-SP. p. 9-13. 1985.

VITAL, A.R.T. **Efeito do corte raso no balanço hídrico e na ciclagem de nutrientes em uma microbacia reflorestada com eucalipto**. Tese de Mestrado. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1996.

VOLPATO, M.M.I. **Regeneração natural em uma floresta secundária no domínio de Mata Atlântica: uma análise fitossociológica**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1994.

VOGT, K.A.; GRIER, C.C.; VOGT, D.J. Production, turnover and nutrient dynamics of above and below ground detrities of world forest. **Advances in ecological research**. v. 15, p. 303-377, 1986.

VOLKOFF, B.; CERRI, C.C. Comparação do húmus de capoeira e de floresta natural em Latossolo Amarelo da região amazônica, Brasil. In: Cerri C.C. et al. (eds). COLÓQUIO REGIONAL SOBRE MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO. **Anais...** Piracicaba. CENA/USP/PROMOCET, 1981. p. 51-8.

YARED, J.A.G. **Efeito de sistemas silviculturais na florística e na estrutura de florestas secundárias e primárias na Amazônia Oriental.** Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1996.

WILLIAN, D.D.; BUGIN, A.; REIS, J.L.B. **Manual de recuperação de áreas degradadas pela mineração:** técnicas de revegetação. Brasília: Ibama, 1990. 96p.