

EPITAGORAS RODSON OLIVEIRA COSTA

**ALTERAÇÕES QUÍMICAS NO SOLO E NA ÁGUA DE PERCOLAÇÃO APÓS
APLICAÇÃO DE RESÍDUOS DE FÁBRICA DE PAPEL RECICLADO EM
*PINUS TAEDA L.***

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Área de Conservação da Natureza, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciências Florestais.

Orientadores:

Dr. Nivaldo Eduardo Rizzi
Dr. Helton Damin da Silva

CURITIBA

2007

AGRADECIMENTOS

Ninguém realiza nada sem apoio de pessoas e instituições. Por isso, ao término do presente trabalho, agradeço sinceramente a todos.

Aos meus pais, pela minha formação e pelos bons exemplos ao longo da vida.

À minha esposa Cleide, pelo amor, carinho e compreensão.

Aos meus filhos, Gustavo e George, pela compreensão das ausências e pela convivência carinhosa.

À UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ, especialmente ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Coordenação, funcionários e professores, pela oportunidade de crescimento profissional e pessoal.

Ao Professor Dr. Nivaldo Eduardo Rizzi, pela confiança depositada, pelo estímulo e orientação.

Ao pesquisador do EMBRAPA Dr. Helton Damin da Silva, pela orientação, amizade e estímulo constante.

Ao pesquisador do EMBRAPA Dr. Shizuo Maeda, pela grande colaboração na condução do experimento e sugestões.

Ao pesquisador do EMBRAPA Dr. Osmir José Lavoranti, pela colaboração valiosa nas análises estatísticas.

Ao pesquisador do EMBRAPA MSc. Itamar Antonio Bognola, pelo auxílio no estudo dos solos envolvidos na pesquisa.

Ao pesquisador Dr. Carlos Alberto Ferreira, pelas valiosas sugestões para este trabalho.

Ao estagiário da Universidade Federal de Santa Maria, hoje Engenheiro Florestal, Raul Bartolotto Agostini pelo auxílio na montagem e condução inicial do experimento.

Aos Técnicos de Campo do EMBRAPA e técnicos dos Laboratórios do EMBRAPA, SENAI e UFPR.

Às empresas CVG – CIA. VOLTA GRANDE DE PAPEL e VOLTA GRANDE REFLORESTAMENTO, pela oportunidade de realizar este trabalho e o apoio irrestrito na sua condução, especialmente aos diretores, Sr. Carlos Alberto Bonacorso De Domenico, Carlos Roberto Masutti e Marcelo A.N. De Domenico.

À toda equipe da VOLTA GRANDE REFLORESTAMENTO, em especial os Srs. Andrei Zanluca, Tec. Agr. Daniel Maros e Eng. Florestal Charles Kupitzki, pelo precioso apoio na realização deste trabalho e durante todo o mestrado. Agradeço também a colaboração do Tec. Agr. José Anastácio Pereira.

À Professora Dra. Celina Wisniewski pela orientação inicial ao trabalho. A todos os Professores da Pós-Graduação em Engenharia Florestal, em especial ao Dr. Carlos Roberto Sanqueta e ao Dr. Júlio Eduardo Arce.

A todos os alunos e amigos do Curso de Pós-graduação pela convivência harmoniosa e colaboração, formando laços de amizade que permanecerão em nossas vidas.

A Deus, criador de tudo o que existe, existiu e existirá.....

BIOGRAFIA DO AUTOR

EPITAGORAS RODSON OLIVEIRA COSTA, nasceu em Jandaia do Sul, Paraná, em 28 de Setembro de 1958.

Cursou o 1º Grau da 1ª a 4ª série na Escola de Vila Belém (São Paulo - SP) e Colégio Estadual Raul Rodrigues Gomes em Ivaiporã (PR). Concluiu o 1º Grau, da 5ª a 8ª série no Instituto Estadual de Educação (Londrina- PR) e 2º Grau no Colégio La Salle Canadá (Londrina- PR).

Em 1977 iniciou curso de Engenharia Agrônômica na Fundação Faculdade de Agronomia Luiz Meneghel, em Bandeirantes (PR), concluindo em 1980.

Em 1981 ingressou por concurso público na ACARESC– Associação de Crédito e Extensão Rural de Santa Catarina. Trabalhou (1981/1986) na extensão e assistência técnica nos Municípios de Rio Negrinho e Itaiópolis (SC)

Trabalhou nas empresas florestais Volta Grande Reflorestamento (1986-1989) em Rio Negrinho (SC) e COMFLORESTA (1989/1990) - Joinville (SC).

É graduado em Administração de Empresas (1995/ 2003) pela UNIVILLE - Universidade da Região de Joinville, onde também concluiu Especialização em Administração de Empresas (1997 / 1998).

Cursou Especialização em Manejo de Florestas Plantadas e Florestas Nativas (1998 / 1999), pela Universidade Federal de Lavras (MG).

Atua como Gerente Florestal da Volta Grande Reflorestamento em Rio Negrinho (SC), desde 1990.

Ingressou no Curso de Pós-Graduação da Universidade Federal do Paraná, na área de Conservação da Natureza, em 2006.

RESUMO

As indústrias de papel geram grandes quantidades de resíduos. Os papéis tissue são produzidos a partir de papel reciclado. A disposição final dos resíduos é um dos principais problemas do setor. O estudo dos efeitos da aplicação de resíduos de fábrica de papel reciclado em *Pinus taeda L.*, na água de percolação e as alterações químicas no solo, foi o objetivo principal deste trabalho. Com resíduo proveniente da CVG- Cia. Volta Grande de Papel de Rio Negrinho (SC), foi realizado o ensaio em casa de vegetação do EMBRAPA, em Colombo (PR). Foram montados vasos com mistura de resíduos e solos - NEOSSOLO REGOLÍTICO Distrófico Húmico e CAMBISSOLO HÚMICO Distrófico Típico. O experimento foi realizado em blocos inteiramente ao acaso, com três repetições, com doses de 0, 10, 20,40 e 80 ton. Ha⁻¹, com plantio de mudas de *Pinus taeda L.* A duração foi de 147 dias de 04/01 a 31/05/2006. O resíduo foi submetido aos ensaios físico-químicos da norma NBR 10004/05. No teste de lixiviação nenhum dos parâmetros excedeu os limites. No teste de solubilização as concentrações de fenóis totais, Al, Ba e Fe e Mn foram superiores aos limites. Os resíduos foram classificados pela norma NBR 10004/2004 (ABNT), como não perigosos, classe II A, não inerte, exigindo controle e monitoramento ambiental. O resíduo não excedeu os limites de metais pesados do IAP (PR), CETESB (SP) e da Resolução CONAMA n.º 375, bem como os limites de coliformes termotolerantes. O resíduo é alcalino possuindo baixo teor de nutrientes. A análise da água de percolação dos resíduos, observando-se os parâmetros para águas destinadas ao consumo humano da Resolução CONAMA n.º 357 apresentou teores de Al, Fe e Mn superiores aos valores máximos; teores de Ba, Pb, nitrogênio amoniacal, nitratos, nitritos, ortofosfatos e surfactantes inferiores aos limites; não ficou comprovado o aumento de fenóis e Cr. Os teores de Na não excederam os limites tolerados. O incremento em altura, diâmetro do colo e da biomassa seca das mudas de *Pinus taeda L.*, não sofreram diminuição até a dose de 20 t/ha de resíduos. Houve alteração das propriedades químicas dos solos com aumento de pH nas camadas superficiais; diminuição do Al e Al + H; aumento nos teores de Ca nas camadas superficiais; aumento nos teores de Mg; sem aumento na matéria orgânica; pequeno acréscimo de k; aumento dos teores de P nas camadas superficiais; aumento na saturação em bases (V%) e sem aumento dos teores de Na.

Palavras chaves: *Pinus taeda L.*; resíduos; papel reciclado; poluição resíduos; água de percolação; alterações químicas solo.

ABSTRACT

The paper industries generate great quantities of residues. The tissue papers are produced from recycled paper. The final residues disposition is one of the main sector problems. The application factory residues effects study of paper recycled in *Pinus taeda L.*, in the percolated water and the chemical changes in the soil, was the main goal of this work. With residue deriving from the CVG-Cia. Volta Grande de Papel from Rio Negrinho (SC), was accomplished the test in EMBRAPA glass house, in Colombo (PR). Vases were mounted with mixture of residues and soils-NEOSSOLO REGOLÍTICO Distrófico Húmico and CAMBISSOLO HÚMICO Distrófico Típico. The experiment was accomplished in randomized blocks, with three repetitions, with doses of 0,10,20,40 and 80 ton. Ha⁻¹, with *Pinus Taeda L.* seedlings planting. The duration was of 147 days from 01/04 to 05/31/2006. The residue was submitted to the physic chemical tests of the NBR 10004/05. In the leaching test any of the parameter exceeded the limits. In the solubilization test the total concentration of phenol, Al, Ba and Fe and Mn were superior than the limits. The residues were classified through the norm 10004/2004 (ABNT), as not dangerous, class II A - non inert, demanding environment control and check. The residue didn't exceed the limits of heavy metals of IAP(PR), CETESB (SP) and of the CONAMA Resolution 375 / 2006, as well as the termotolerants coliforms limits. The residue is alkaline, having short tenor of nutrients. The analysis of the residues percolated water, observing the parameters for water destined to the human consumption of CONAMA 357 / 2005 Resolution presented tenors of Al, Fe and Mn superior to the maximum values; Ba, Pb tenors, ammonia nitrogen, nitrates, nitrites, orthofosfhate and surfactants inferior than the limit; it wasn't proved the phenol and Cr. Increase Na tenors didn't exceed the tolerated limits. The increment in height, *collar diameter* and dry biomass of *Pinus Taeda L.* seedings didn't suffer diminution until the 20 t/ha residue dose. There was change of soil chemical properties with the pH increase on the superficial layers; Al and Al + H decrease; increase in the Ca tenors on the superficial layers; increase in the Mg tenors; without increasing in the organic matter; short k increase; P tenors increase on the superficial layers; increase in the base saturation (V%) and without increasing of Na tenors.

Key Words: *Pinus taeda L.*; residues; recycled paper; pollution; percolated water; chemical alterations soil.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – LOCALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO	50
FIGURA 2 – PERFIS DOS SOLOS UTILIZADOS NO EXPERIMENTO	52
FIGURA 3 – MONTAGEM DOS VASOS EXPERIMENTAIS	54
FIGURA 4 – DEPÓSITO DE APARAS E ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES DA CVG	55
FIGURA 5 – RESÍDUO CENTRIFUGADO E ATERRO INDUSTRIAL NA CVG	55
FIGURA 6 – MISTURA SOLO E RESÍDUOS NOS VASOS	57
FIGURA 7 – VISTA DO EXPERIMENTO APÓS INSTALAÇÃO	58
FIGURA 8 – COLETA DE DIÂMETRO DO COLO E ALTURA DAS MUDAS	58
FIGURA 9 – FINAL DO EXPERIMENTO	59
FIGURA 10 – COLETA DA ÁGUA DE PERCOLAÇÃO	60
FIGURA 11 – COLETA DO SOLO	60
FIGURA 12 – COLETA DO CAULE, ACÍCULAS E RAIZ	61
FIGURA 13 – EXPERIMENTO DE CAMPO COM APLICAÇÃO MANUAL DE RESÍDUOS DE FÁBRICA DE PAPEL RECILADO, EM PLANTAÇÕES DE <i>Pinus taeda</i> L. - RIO NEGRINHO (SC)	111

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 - TEORES DE NITROGÊNIO AMONIACAL NA ÁGUA DE PERCOLAÇÃO E LIMITES LEGAIS, EM DOIS TIPOS DE SOLOS, COM APLICAÇÃO DE DIFERENTES DOSES DE RESÍDUOS	72
GRÁFICO 2 - TEORES DE NITRATOS NA ÁGUA DE PERCOLAÇÃO E LIMITES LEGAIS, EM DOIS TIPOS DE SOLOS, COM APLICAÇÃO DE DIFERENTES DOSES DE RESÍDUOS	73
GRÁFICO 3 - TEORES DE NITRITOS NA ÁGUA DE PERCOLAÇÃO E LIMITES LEGAIS, EM DOIS TIPOS DE SOLOS, COM APLICAÇÃO DE DIFERENTES DOSES DE RESÍDUOS	74
GRÁFICO 4 - TEORES DE ORTOFOSFATOS NA ÁGUA DE PERCOLAÇÃO E LIMITES LEGAIS, EM DOIS TIPOS DE SOLOS, COM APLICAÇÃO DE DIFERENTES DOSES DE RESÍDUOS	75
GRÁFICO 5 - TEORES DE ALUMÍNIO NA ÁGUA DE PERCOLAÇÃO E LIMITES LEGAIS, EM DOIS TIPOS DE SOLOS, COM APLICAÇÃO DE DIFERENTES DOSES DE RESÍDUOS	76
GRÁFICO 6 - TEORES DE MANGANÊS NA ÁGUA DE PERCOLAÇÃO E LIMITES LEGAIS, EM DOIS TIPOS DE SOLOS, COM APLICAÇÃO DE DIFERENTES DOSES DE RESÍDUOS	78
GRÁFICO 7 - TEORES DE FENÓIS NA ÁGUA DE PERCOLAÇÃO, EM DOIS TIPOS DE SOLOS, COM APLICAÇÃO DE DIFERENTES DOSES DE RESÍDUOS	81
GRÁFICO 8 - TEORES DE SÓDIO NA ÁGUA DE PERCOLAÇÃO EM DOIS TIPOS DE SOLOS, COM APLICAÇÃO DE DIFERENTES DOSES DE RESÍDUOS	82
GRÁFICO 9 - TEORES DE SURFACTANTES NA ÁGUA DE PERCOLAÇÃO E LIMITES LEGAIS, EM DOIS TIPOS DE SOLOS, COM APLICAÇÃO DE DIFERENTES DOSES DE RESÍDUOS	83
GRÁFICO 10 - INCREMENTO PERIÓDICO AOS 147 DIAS, DA ALTURA E DO DIÂMETRO DO COLO (DC) DE <i>Pinus taeda</i> L., EM DOIS TIPOS DE SOLO, COM APLICAÇÃO DE RESÍDUOS	86
GRÁFICO 11 - VARIAÇÃO DA BIOMASSA SECA TOTAL DE <i>Pinus taeda</i> L., EM DOIS TIPOS DE SOLOS E COM DIFERENTES DOSAGENS DE RESÍDUOS	88

GRÁFICO 12 - VARIAÇÃO DO pH CaCl ₂ , EM DOIS TIPOS DE SOLOS, COM APLICAÇÃO DE DIFERENTES QUANTIDADES DE RESÍDUOS	90
GRÁFICO 13 - VARIAÇÃO DO TEOR DE ALUMÍNIO (Al), EM DOIS TIPOS DE SOLOS, COM APLICAÇÃO DE DIFERENTES DOSES DE RESÍDUOS	92
GRÁFICO 14 - VARIAÇÃO NA ACIDEZ POTENCIAL (H +Al), EM DOIS TIPOS DE SOLOS, COM APLICAÇÃO DE DIFERENTES DOSES DE RESÍDUOS	94
GRÁFICO 15 - VARIAÇÃO DO TEOR DE CÁLCIO (em cmol _c dm ⁻³), EM DOIS TIPOS DE SOLOS, COM APLICAÇÃO DE DIFERENTES DOSES DE RESÍDUOS	95
GRÁFICO 16 - VARIAÇÃO DO TEOR DE MAGNÉSIO (em cmol _c dm ⁻³), EM DOIS TIPOS DE SOLOS, COM APLICAÇÃO DE DIFERENTES DOSES DE RESÍDUOS.....	97
GRÁFICO 17 - VARIAÇÃO DO TEOR DE CÁLCIO + MAGNÉSIO (em cmol _c dm ⁻³), EM DOIS TIPOS DE SOLOS, COM APLICAÇÃO DE DIFERENTES DOSES DE RESÍDUOS	98
GRÁFICO 18 - VARIAÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA (g/ dm ³), EM DOIS TIPOS DE SOLO, COM APLICAÇÃO DE DIFERENTES DOSES \ DE RESÍDUOS	99
GRÁFICO 19 - TEOR DE POTÁSSIO (g/ dm ³), EM DOIS TIPOS DE SOLO, COM APLICAÇÃO DE DIFERENTES DOSES DE RESÍDUOS	101
GRÁFICO 20 - VARIAÇÃO DO TEOR DE FÓSFORO (P), EM DOIS TIPOS DE SOLOS, COM APLICAÇÃO DE DIFERENTES DOSES DE RESÍDUOS	103
GRÁFICO 21 - VARIAÇÃO DA SATURAÇÃO EM BASES (V%), EM DOIS TIPOS DE SOLOS, COM APLICAÇÃO DE DIFERENTES DOSES DE RESÍDUOS	105
GRÁFICO 22 - VARIAÇÃO DO TEOR DE SÓDIO (mg/dm ³), EM DOIS TIPOS DE SOLOS, COM APLICAÇÃO DE RESÍDUOS	106

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 - CLASSIFICAÇÃO DOS METAIS PESADOS	36
QUADRO 2 - CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS PELA NBR 10004	45
QUADRO 3 - CLASSIFICAÇÃO DOS LODOS - RESOLUÇÃO CONAMA n.º 375	49
QUADRO 4 - PARÂMETROS PARA ALGUMAS SUBSTÂNCIAS INORGÂNICAS E ORGÂNICAS DA RESOLUÇÃO CONAMA n.º 357	69

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - ANÁLISE QUÍMICA E CARACTERÍSTICAS DE RESÍDUO DE FÁBRICA DE PAPEL RECICLADO	24
TABELA 2 - MACRONUTRIENTES EXPORTADOS DE FLORESTAS DE <i>Pinus taeda</i> L. EM VÁRIAS IDADES	27
TABELA 3 - PESO DE MATÉRIA SECA E NUTRIENTES EXPORTADOS DE FLORESTAS DE <i>Pinus taeda</i> L. EM VÁRIAS IDADES	27
TABELA 4 - LIMITES MÁXIMOS DE CONCENTRAÇÃO DE SUBSTÂNCIAS INORGÂNICAS PELA RESOLUÇÃO CONAMA n.º 375	47
TABELA 5 - CARGA ACUMULADA TEÓRICA PERMITIDA DE SUBSTÂNCIAS INORGÂNICAS PELA APLICAÇÃO DO LODO DE ESGOTO OU PRODUTO DERIVADO PELA RESOLUÇÃO CONAMA n.º 375	48
TABELA 6 - RESULTADOS DOS ENSAIOS FÍSICO-QUÍMICOS E LIMITES DA NBR 10004-05	64
TABELA 7 - COMPARAÇÃO LODO DE ETE DE FÁBRICA DE PAPEL RECICLADO E LIMITES DO IAP (PR) E CETESB (SP)	66
TABELA 8 - COMPARAÇÃO LODO DE ETE DE FÁBRICA DE PAPEL RECICLADO E LIMITES DA RESOLUÇÃO CONAMA n.º 375 / 2006	66
TABELA 9 - CONCENTRAÇÃO DE COLIFORMES TERMOTOLERANTES PERMITIDOS NA RESOLUÇÃO CONAMA n.º 375 / 2006	67
TABELA 10 - ANÁLISE QUÍMICA E NUTRIENTES DE RESÍDUO DE ETE DE FÁBRICA DE PAPEL RECICLADO	68
TABELA 11 - CONCENTRAÇÃO (mg/l) DE BÁRIO, CHUMBO E CROMO NA ÁGUA DE PERCOLAÇÃO EM DOIS TIPOS DE SOLO E APLICAÇÃO DE DIFERENTES QUANTIDADES DE RESÍDUOS	70
TABELA 12 - CONCENTRAÇÃO (mg/l) DE NITROGÊNIO AMONÍACAL, NITRATOS, NITRITOS E ORTOFOSFATOS, NA ÁGUA DE PERCOLAÇÃO EM DOIS TIPOS DE SOLO E APLICAÇÃO DE DIFERENTES QUANTIDADES DE RESÍDUOS	72

TABELA 13 - CONCENTRAÇÃO (mg/l) DE ALUMÍNIO, FERRO E MANGANÊS, NA ÁGUA DE PERCOLAÇÃO, EM DOIS TIPOS DE SOLO E APLICAÇÃO DE DIFERENTES QUANTIDADES DE RESÍDUOS	76
TABELA 14 - CONCENTRAÇÃO (mg/l) DE FENÓIS, SÓDIO E SURFACTANTES, NA ÁGUA DE PERCOLAÇÃO EM DOIS TIPOS DE SOLO E APLICAÇÃO DE DIFERENTES QUANTIDADES DE RESÍDUOS	80
TABELA 15 - INCREMENTO PERIÓDICO AOS 147 DIAS, DA ALTURA E DO DIÂMETRO DO COLO DE <i>Pinus taeda L.</i> , EM DOIS TIPOS DE SOLO, COM APLICAÇÃO DE RESÍDUOS	85
TABELA 16 - BIOMASSA SECA E INCREMENTO PERIÓDICO EM ALTURA DAS MUDAS E DIÂMETRO DO COLO DE <i>Pinus taeda L.</i> , EM 147 DIAS DE EXPERIMENTO, EM DOIS TIPOS DE SOLO, E APLICAÇÃO DE DIFERENTES QUANTIDADES DE RESÍDUOS	85
TABELA 17 - ANÁLISE QUÍMICA DE NEOSSOLO REGOLÍTICO distrófico húmico, COM PLANTIO DE <i>Pinus taeda L.</i> , AOS 147 DIAS DE ENSAIO, COM CINCO TRATAMENTOS COM RESÍDUOS	89
TABELA 18 - ANÁLISE QUÍMICA DE CAMBISSOLO Húmico distrófico, COM PLANTIO DE <i>Pinus taeda L.</i> , AOS 147 DIAS DE ENSAIO, COM CINCO TRATAMENTOS COM RESÍDUOS	89
TABELA 19 - VARIAÇÃO DO pH CaCl ₂ , EM DOIS TIPOS DE SOLOS E CINCO TRATAMENTOS COM RESÍDUOS	90
TABELA 20 - TEOR DE ALUMÍNIO (cmol _c dm ⁻³), EM DOIS TIPOS DE SOLO E CINCO TRATAMENTOS COM RESÍDUOS.....	92
TABELA 21 - TEORES DE CÁLCIO, MAGNÉSIO E CÁLCIO + MAGNÉSIO EM DOIS TIPOS DE SOLO E CINCO TRATAMENTOS COM RESÍDUOS (em cmol _c dm ⁻³)	95
TABELA 22 - MATÉRIA ORGÂNICA (g / dm ₃), EM DOIS TIPOS DE SOLOS EM CINCO TRATAMENTOS COM RESÍDUOS	98
TABELA 23 - TEOR DE POTÁSSIO (g/ dm ³), EM DOIS TIPOS DE SOLO, CINCO TRATAMENTOS COM RESÍDUOS	100
TABELA 24 - TEOR DE FÓSFORO (mg/dm ₃), EM DOIS TIPOS DE SOLOS E CINCO TRATAMENTOS COM RESÍDUOS	102

TABELA 25 - SATURAÇÃO DE BASES (v%) EM DIFERENTES PROFUNDIDADES EM DOIS TIPOS DE SOLOS E CINCO TRATAMENTOS COM RESÍDUOS	104
TABELA 26 - TEOR DE SÓDIO (mg/dm^3), EM DOIS TIPOS DE SOLOS E CINCO TRATAMENTOS COM RESÍDUOS	106

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
2 OBJETIVOS	19
2.1 OBJETIVO GERAL	19
2.1.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
3 REVISÃO DE LITERATURA	20
3.1 A PRODUÇÃO DE PAPEL E CELULOSE E USO DE PAPÉIS RECICLADOS	20
3.2 A INDÚSTRIA DE PAPEL RECICLADO E O PAPEL TISSUE	21
3.3 PRODUÇÃO DE RESÍDUOS NA INDÚSTRIA DE PAPEL	21
3.4 FORMA DE DISPOSIÇÃO E DESTINAÇÃO DOS RESÍDUOS NA INDÚSTRIA DE PAPEL	22
3.5 CARACTERIZAÇÃO E PROPRIEDADES DOS RESÍDUOS	23
3.6 ALGUNS ASPECTOS DE NUTRIÇÃO DE PINUS E USO DE RESÍDUOS	25
3.7 APLICAÇÃO DOS RESÍDUOS NO SOLO E NAS FLORESTAS	31
3.8 USO DE RESÍDUOS E POLUIÇÃO NO SOLO E ÁGUA	34
3.8.1 Contaminação por elementos traços e outros pelo uso de resíduos	34
3.8.2 Contaminação da água	38
3.8.2.1 Nitrogênio na água	39
3.8.2.2 Fósforo na água	40
3.8.2.3 Contaminação da água por outros elementos	41
3.9 LEGISLAÇÃO E LIMITES DE SUBSTÂNCIAS NOCIVAS	44
4 MATERIAL E MÉTODOS	50
4.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL	50
4.1.1 Localização e clima	50
4.1.2 Descrição dos solos	51
4.1.3 Empresa fornecedora do resíduo de papel	53
4.2 DESCRIÇÃO DO EXPERIMENTO	53
4.2.1 Montagem dos vasos	53
4.2.2 Descrição da geração do lodo na estação de tratamento de efluentes	54
4.2.3 Deposição final do lodo na empresa	56
4.2.4 Coleta do resíduo para experimentação	56
4.2.5 Análise do resíduo em laboratório	56

4.2.6 Montagem da mistura de solo e resíduos nos vasos	56
4.2.7 Plantio nos vasos do experimento	57
4.3 DELINEAMENTO ESTATÍSTICO E TRATAMENTOS	57
4.3.1 Delineamento estatístico	57
4.3.2 Tratamentos e repetições	57
4.4 CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO	58
4.4.1 Coleta de dados dendrométricos	58
4.4.2 Irrigações	59
4.4.3 Duração	59
4.4.4 Coleta da água de percolação e análise laboratorial	59
4.4.5 Coleta do solo no final do experimento	60
4.4.6 Coleta da parte aérea (caule e acículas) e raízes	61
4.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA	62
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	63
5.1 CARACTERIZAÇÃO E VALOR AGRONÔMICO DOS RESÍDUOS	63
5.1.1 Caracterização do resíduo pela norma NBR 10004 (ABNT)	63
5.1.2 Limites de metais pesados e agentes patogênicos	65
5.1.3 Caracterização do valor agronômico dos resíduos	67
5.2 EFEITOS DA APLICAÇÃO DE RESÍDUO NA ÁGUA DE PERCOLAÇÃO	69
5.2.1 Presença de metais e outros parâmetros inorgânicos	70
5.2.1.1 Bário, chumbo e cromo	70
5.2.1.2 Nitrogênio amoniacal, nitratos, nitritos e ortofosfatos.....	71
5.2.1.3 Alumínio, ferro e manganês	75
5.2.1.4 Fenóis, sódio e surfactantes	80
5.4 EFEITOS DA APLICAÇÃO DE RESÍDUOS NAS PLANTAS DE <i>PINUS TAEDA L.</i>	84
5.4.1 Efeitos dos resíduos sobre o incremento em altura, diâmetro do colo e biomassa seca de <i>Pinus taeda L.</i>	84
5.5 EFEITO DA APLICAÇÃO DE RESÍDUOS SOBRE AS CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DO SOLO	89
5.5.1 pH, alumínio (Al) e acidez potencial	90
5.5.2 Cálcio (Ca) e magnésio (Mg)	95
5.5.3 Matéria orgânica	98
5.5.4 Potássio (K)	100

5.5.5 Fósforo (P)	102
5.5.6 Saturação em bases (v%) e sódio (Na)	104
6 CONCLUSÕES	108
7 RECOMENDAÇÕES	110
REFERÊNCIAS	113
APÊNDICES	128
ANEXOS	136

1 INTRODUÇÃO

O setor de papel e celulose ocupa lugar de destaque no Brasil, colocando o país entre os principais produtores mundiais.

A produção de resíduos pelas empresas, é inerente aos processos industriais de transformação de matérias primas. As fábricas dos chamados papéis tissue, que são produzidos a partir de matéria prima reciclada, são grandes produtoras de resíduos.

Atualmente, um dos grandes desafios das indústrias de papel é a disposição final dos resíduos, hoje destinados a aterros industriais. Esta alternativa gera responsabilidade *ad eternum* pela guarda dos produtos, gerando um passivo ambiental e custo permanente.

Os resíduos podem ter potencial de utilização, porém, é necessário o pleno conhecimento das características do produto, principalmente seus efeitos no meio ambiente.

Diversos trabalhos exploram o uso de resíduos de várias origens, com aplicação na agricultura e florestas. Os chamados biossólidos, em especial o lodo de esgoto, tem despertado a atenção, pela potencialidade de uso.

Recentemente o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) através da Resolução Normativa n.º 375 de 29 de agosto de 2006, colocou normas e critérios sobre o uso de lodos oriundos de estações de tratamento sanitário e seus produtos derivados. Até então, não existia legislação federal sobre o assunto, apenas leis estaduais, como em São Paulo e Paraná.

Apesar de específica para o lodo de esgoto, a resolução do CONAMA deverá ser referência para outros tipos de resíduos. Esta legislação irá causar muita discussão, pois para algumas questões, como os limites máximos de metais pesados, não existe consenso entre os pesquisadores, por falta de pesquisas de longa duração em ambientes brasileiros (TSUTIYA, 2006).

Partiu-se da hipótese da possibilidade de utilização do resíduo centrifugado oriundo da Estação de Tratamento de Efluentes de fábrica de papel reciclado em florestas de *Pinus taeda L.*

A pesquisa foi realizada em casa de vegetação, com uso de diferentes dosagens de resíduos, em dois tipos de solos, com plantio de *Pinus taeda L.*

A caracterização do resíduo irá reunir as informações para se conhecer a classificação e periculosidade do resíduo, pela metodologia da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

Os metais pesados presentes nos resíduos causam preocupação, pela capacidade de contaminação do solo e do lençol freático. A água vem se tornando cada vez mais escassa, com previsões alarmantes de falta para o futuro, sendo o conhecimento do potencial de contaminação, indispensável em qualquer ação antrópica.

O uso inadequado de resíduos sólidos pode provocar poluição das águas, sendo escassas as informações sobre os efeitos dos resíduos no perfil do solo e no lençol freático (BELOTE *et al.*, 1998).

Os efeitos na água de percolação dos resíduos com análise dos principais elementos capazes de causar poluição ambiental foi um dos objetivos da pesquisa.

Também mereceu atenção os efeitos da aplicação de diferentes doses de resíduos sobre as plantas de *Pinus taeda L.*, em experimento em casa de vegetação

O uso de resíduos pode contribuir para o aumento da produtividade nas florestas de *Pinus*, normalmente implantada em solos carentes de nutrientes.

Neste trabalho, procurou-se conhecer o potencial agrônomo do resíduo estudado e as alterações sofridas nas principais características químicas dos solos, causadas pela aplicação de diferentes doses de resíduos de fábrica de papel reciclado.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar as alterações na água de percolação e no solo, proveniente da aplicação de resíduos oriundos da estação de tratamento de efluentes de fábrica de papel reciclado em plantações de *Pinus taeda L.*

2.1.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Avaliar o desenvolvimento em plantações de *Pinus taeda L.*, em casa de vegetação, com aplicação de dosagens crescentes de resíduo;
- b) Quantificar a produção de biomassa das mudas produzidas, sob diferentes doses de resíduos;
- c) Caracterizar o resíduo oriundo do processo industrial da empresa segundo as normas e legislação vigente;
- d) Analisar a qualidade da água percolada em colunas de solo, em função das taxas de resíduos aplicadas em dois tipos de solos;
- e) Avaliar a influência do resíduo nas características químicas de dois tipos de solos característicos da região estudada;

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 A PRODUÇÃO DE PAPEL E CELULOSE E O USO DE PAPÉIS RECICLADOS

O setor de celulose e papel é bastante expressivo no Brasil, ocupando o sétimo lugar na produção mundial de celulose e décimo primeiro lugar na produção de papel (Associação Brasileira de Celulose e Papel - BRACELPA, 2006).

O consumo de papel reciclado foi de 3,4 milhões de toneladas, utilizado por 147 empresas do setor. O país ocupa lugar de destaque na reciclagem de papel, com taxa de recuperação (porcentual entre a coleta e consumo) de 46,9% em 2005 (BRACELPA, 2006).

A reciclagem é o aproveitamento das fibras celulósicas do papel velho e sua incorporação na fabricação de novos papéis, descrito por Fialho (1996), como semelhante ao processo de obtenção de papel a partir de fibras virgens, sendo que a principal diferença está na depuração das aparas.

Bugager (1988), descreve o aproveitamento de papéis usados e aparas para a produção de novos papéis, reutilizando as fibras presentes no material em substituição a fibras virgens, como a pasta química, semiquímica ou mecânica. As perdas no processo de reciclagem ficam em torno dos 20%.

Segundo Fialho (1996), a reciclagem economiza energia e aproximadamente 10 árvores por tonelada reciclada. Os principais papéis recicláveis são as aparas: aparas brancas; aparas Kraft; aparas de cartolina e aparas de tipografia. Os papéis velhos são os papelões ondulados; jornais, formulários, arquivo branco (notas fiscais, faturas, livros, cadernos) (Banco Nacional de Desenvolvimento Social e Econômico - BNDES, 2006).

O papel reciclado no Brasil tem como destino a produção de embalagens (68%) e a produção de papel tissue da linha higiênica (10 a 12%), que utiliza aparas claras (PERECIN, 2005). A maioria das empresas de papel no Brasil (53%) tem as aparas de papel reciclado, como sua única fonte de matéria prima, apesar dos custos de produção de fibra virgem ser menor em comparação a outros países. O custo de coleta dos reciclados pode ser considerado baixo, normalmente realizado por catadores de papel nos grandes centros urbanos (FAILLACE, 1996).

3.2 A INDÚSTRIA DE PAPEL RECICLADO E O PAPEL TISSUE

O papel reciclado é utilizado principalmente pela indústria de papel tissue, estima-se que 80% das indústrias utilizem o papel reciclado como matéria prima (UTILIZAÇÃO DE RECICLADO, 2006). Na fabricação de papéis sanitários, devido aos custos envolvidos são amplamente utilizadas as fibras recicladas, totalizando cerca de 54% do total do volume produzido de papel (MATTOS; VALENÇA, 1999).

Os papéis para fins sanitários, denominados papéis tissue, apresentam-se sob a forma de diversos produtos finais, como o papel higiênico, toalha, guardanapo e lenço de papel (LEITE; MACEDO, 1996). São papéis de baixa gramatura (15 a 50 g/ m²), normalmente utilizados para absorção e remoção de umidade, matérias graxas e sujeira (BNDES, 2002).

A produção de papel tissue no Brasil foi de 778 mil toneladas em 2005, com consumo “per capita” de 3,9 kg (BACEPLA, 2007).

No Brasil, a produção está concentrada na região sul e sudeste (95%) (LEITE; MACEDO, 1996), com 68% da produção localizada nos estados de São Paulo e Santa Catarina (MATTOS; VALENÇA, 1999).

A produção de tissue é concentrada em grandes produtores – Klabin 22%; Santher 18%; Melhoramentos 10%, Manicraft 6%; Mili 4%. O restante, 40%, distribuído por um grande número de pequenas empresas de atuação regional. Entre os 47 produtores de tissue, apenas a Klabin dispõe de produção própria de celulose (MATTOS; VALENÇA, 1999).

3.3 PRODUÇÃO DE RESÍDUOS NA INDÚSTRIA DE PAPEL

Os resíduos gerados nas fábricas de papel e celulose vão depender da tecnologia empregada na fabricação. Pelo potencial de utilização, tem merecido atenção, a cinza de caldeira e o resíduo celulósico (BELLOTE *et al.*, 1998).

Na reciclagem de papel, os resíduos são gerados pelas perdas de fibra de celulose e pela remoção de cargas minerais das aparas (BALBINOT JUNIOR *et al.*, 2006).

Os resíduos originários das estações de tratamento de efluentes são a maior parte do total de resíduos gerados em complexos de papel e celulose CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA (CNI), 1989).

O tipo de resíduo gerado nas fábricas de papel depende das características do processo e das técnicas de reaproveitamento. Pode variar muito de uma indústria para outra, mesmo nos casos em que os produtos finais são semelhantes (CAMPREGHER, 2005).

A produção de papel é realizada a partir de um ou diversos tipos de polpa celulósica, com vários tipos de polpeamento e com adição de material de enchimento (carga), cola, corantes e outras substâncias (GRIECO, 1994).

Os efluentes líquidos eram os principais obstáculos para o uso do papel reciclado na indústria de tissue (UTILIZAÇÃO DE RECICLADO, 2006).

A carga poluidora contida nos despejos procedentes dos processos de produção de polpa e papel, varia de fábrica para fábrica, dependendo do tipo de polpeamento, da qualidade da matéria prima empregada e do produto final desejado. Em geral, essas águas residuais são divididas (dependendo do seu estado físico), em matéria dissolvida e sólidos em suspensão (FONSECA *et al.*, 2003).

Segundo Rezende, Mattos e Silva (2000), a maioria das fábricas possui alguma forma de tratamento de efluentes antes de lançá-los ao ambiente, tendo que cumprir as exigências legais. É necessária a investigação de alternativas para melhorar o tratamento e disposição final desses efluentes.

3.4 FORMA DE DISPOSIÇÃO E DESTINAÇÃO DOS RESÍDUOS NA INDÚSTRIA DE PAPEL

A produção de papel é geradora de resíduos. Os constantes aumentos na demanda da produção, implicam na geração diária de grande quantidade de resíduos, que constituem uma grande preocupação ambiental (MORO; GONÇALVES, 1995).

A produção e o destino do resíduo industrial é um dos maiores problemas enfrentados pelas indústrias, geralmente são colocados em aterros, descritos por

Fialho (1996), como terrenos compactados e revestidos de plástico (mantas sintéticas de alta resistência). Permitem a disposição segura dos resíduos, sem riscos à saúde pública e contaminação ambiental, quando instalados em áreas adequadas, afastada dos corpos d'água, com controle dos líquidos percolados (TOCCHETO, 2005).

Os aterros industriais requerem segurança na operação, para não ocorrer contato dos resíduos com o solo ou percolação de líquidos para o aquífero livre. No caso de contaminação do meio ambiente nas áreas próximas, o responsável responde judicialmente e deve monitorar as águas subterrâneas, mesmo depois de encerrada a capacidade de ocupação do aterro (PEREIRA, 2002).

Outras alternativas estão sendo investigadas para o uso dos resíduos da fabricação de papel, como na produção de blocos cerâmicos, reduzindo os custos e riscos ambientais (IPEF, 2000).

Cita-se também o chamado co-processamento, que consiste na utilização dos resíduos como combustível nos fornos ou como substituto de matéria prima na produção de cimento (MAZZER; CAVALCANTI, 2004). Existem experiências no uso de resíduos em pavimentos de estradas florestais (MACHADO *et al.*, 2006).

3.5 CARACTERIZAÇÃO E PROPRIEDADES DOS RESÍDUOS

Os resíduos de papel e celulose, segundo (HARRISON *et al.*, 2003), são basicamente constituídos por lodos primário e secundário. O lodo primário é composto de fibras de resíduos de madeira, com alto teor de carbono e baixo nível de nutrientes. O secundário, normalmente já passou por tratamento microbiológico, facilitando sua decomposição.

O lodo de ETE (estação de tratamento de efluentes) tem potencial para uso como fertilizante ou como condicionador de solos. Possui algumas limitações como fertilizante, apresentando alto teor de matéria orgânica e baixos teores de Al, Na e K (NOLASCO; GUERRINI; BENEDETTI, 2005).

O resíduo celulósico foi caracterizado por Rodrigues (2004), como material originário de fábrica de celulose, constituindo-se das fibras não aproveitadas no processo de produção, rejeitadas nos processos de depuração e classificação.

Normalmente este tipo de resíduo possui alta relação de carbono/nitrogênio (C/N), necessitando para sua utilização passar por processo de compostagem (BELLOTE *et al.*, 1998); (CARVALHO *et al.*, 2002).

A compostagem dos resíduos de fábrica de papel e celulose promove uma estabilização acelerada do material, abaixando a relação C/N e homogeneizando o produto (CARVALHO *et al.*, 2002).

Kinjo *et al.* (1992) relatam algumas características de efluentes coletados em fábricas de papel e celulose. São líquidos bastante alcalinos (pH 8,4 a 11,50), com teor de potássio de médio a baixo e alto teor de sódio, que pode trazer problemas de degradação do solo.

A composição química dos resíduos de fábrica de papel reciclado vai depender do tipo de aparas utilizadas no processo. Segundo Balbinot Junior *et al.* (2006), o lodo resultante é composto de fibras, de cor acinzentada, classificado pela ABNT, como de classe IIA – não inerte. Os autores analisaram resíduos de apara natural (jornais, revistas, papelão) e apara branca (folhas brancas de papel), cujos resultados constam da TABELA 1.

TABELA 1 – ANÁLISE QUÍMICA E CARACTERÍSTICAS DE RESÍDUO DE FÁBRICA DE PAPEL RECICLADO

Parâmetros Medidos	Composição Média Resíduo	
	Aparas naturais	Aparas brancas
Umidade (g/100 g)	65,00	66,00
pH	7,60	7,30
Carbono orgânico (g/100 g)	15,00	13,00
Cinzas (g/ 100 g)	71,00	72,00
Nitrogênio (TKN) (g/100 g)	0,28	0,19
P ₂ O ⁵ total (g/100 g)	0,16	0,18
K ₂ O total (g/100 g)	0,11	0,11
CaO total (g/100 g)	13,00	22,00
MgO total (g/100 g)	0,83	0,42
Ferro total (g/100 g)	0,28	0,22
Manganês total (g/100 g)	59,00	55,00
Sódio total (g/100 g)	0,66	0,45
Chumbo (g/100 g)	27,00	23,00
Mercúrio (mg / Kg)	0,04	0,01
Alumínio total (g/100 g)	6,30	5,10
Cádmio (mg/ Kg)	< 2,00	< 2,00
Cromo Total (mg / kg)	46,00	10,00
Níquel total (mg / Kg)	< 5,00	35,00

FONTE: BALBINOT JUNIOR *et al.*, 2006

As características do lodo originário de ETE de fábrica de papel reciclado são descritas por Secchi e Casiraghi (2004), recebendo tratamento biológico com lodo ativado, resultando um material pastoso, homogêneo, coloração marrom acinzentada, apresentando cerca de 20% de matéria seca no descarte. O lodo contém materiais orgânicos e inorgânicos, entre os quais fibras, resíduos de esgoto sanitário e produtos químicos.

Nolasco, Guerrini e Benedetti (2005), citam que o lodo orgânico de ETE de indústria de papel e celulose, apresenta altos teores de matéria orgânica, baixos teores de alumínio, sódio e potássio, apresentando relações de cálcio + magnésio /alumínio, muito elevadas.

Esgoto é toda água residuária que foi utilizada em atividades domésticas ou industriais, posteriormente lançada nos sistemas de captação de esgoto e levada para uma ETE (estação de tratamento de efluentes), ou ainda lançada nos corpos hídricos (MELO; MARQUES; MELO, 2002).

O tratamento das águas de esgotos sanitários tem a finalidade de retirar boa parte de seus poluentes, resultando em um resíduo, que devidamente higienizado, estabilizado e seco, é chamado de biossólido, permitindo seu retorno ao meio ambiente (TSUTIYA, 2002; NOLASCO; GUERRINI; BENEDETTI, 2005).

3.6 ALGUNS ASPECTOS DE NUTRIÇÃO DE PINUS E O USO DE RESÍDUOS

As florestas de Pinus são normalmente implantadas em solos de baixa fertilidade, conforme relato de diversos autores como Bellote e Silva (2005); Gonçalves (1988); Laso e Torres (1986); Reissmann (2002).

É indispensável o conhecimento das exigências nutricionais de espécies florestais como o Pinus, com elevada variação na produtividade conforme a fertilidade do solo (FERREIRA *et al.*, 2004). Muitas espécies florestais de rápido crescimento tendem a extrair mais nutrientes que algumas culturas agrícolas (GONÇALVES, 1988).

Durante as primeiras rotações da espécie *Pinus*, acreditava-se que a mesma não reagiria a fertilizações (FERREIRA *et al.*, 2004; REISSMANN; WISNEWSKI, 2005), ou haveria respostas em crescimento somente para alguns

nutrientes como o fósforo (SIMÕES, 1981). Muniz *et al.* (1975) relata em experimento com mudas de *Pinus*, maior resposta à aplicação de fósforo, em relação à potássio e nitrogênio.

A falta de sintomas de deficiência nutricional, aliado ao rápido crescimento, fortaleceu este conceito da dispensa da fertilização mineral (FERREIRA *et al.*, 2004); (REISSMANN; WISNEWSKI, 2005), embora, normalmente os solos escolhidos para o *Pinus*, sejam os piores em fertilidade natural (BELLOTE; SILVA, 2005; GONÇALVES, 1988; LASO; TORRES, 1986; REISSMANN, 2002).

Pesquisas recentes indicam que as respostas nutricionais dependem das propriedades do solo e das exigências em nutrientes (FERREIRA *et al.*, 2004).

Faltam pesquisas para a recomendação mais precisa de fertilização, como exemplo calibração de análises de solo para a espécie *Pinus*. As extensas áreas de *Pinus* não respondem uniformemente ao uso de fertilizantes. (REISSMANN, 2002). As reservas de nutrientes do solo podem se esgotar em poucos ciclos da floresta plantada, se não houver a reposição por fertilizantes (CARVALHO *et al.*, 1983).

As pesquisas mostram maiores teores foliares de K, Fe, Cu e Zn nas árvores cultivadas em solos originários de diabásio, com maior desenvolvimento das árvores, em relação a solos derivados de arenito (FERREIRA *et al.*, 2004).

O *Pinus taeda* apresentou ganhos de volume na aplicação de Fósforo, no crescimento inicial das plantas até os 19 meses de idade, caso contrário do nitrogênio que não apresentou resposta significativa (VOGEL *et al.*, 2005).

Na nutrição mineral de espécies florestais, a ciclagem de nutrientes é fundamental, especialmente nos sítios pobres, pois as quantidades exportadas de nutrientes são consideráveis (REISSMANN; WISNEWSKI, 2005; FERREIRA *et al.*, 2004; CARVALHO *et al.*, 1983).

Muitos autores comprovaram a necessidade de repor nutriente à floresta, para um melhor ganho de produção e sustentação desta produtividade ao longo dos ciclos florestais sucessivos (FERREIRA *et al.*, 2004; REISSMANN, 2002; CARVALHO *et al.*, 1983; GONÇALVES, 1988), pela grande exportação de nutrientes (VALERI, 1988; MORO, 2005).

Valeri (1988), estimou o peso dos macro e micronutrientes exportados em diferentes idades de *Pinus taeda* (TABELA 2 e TABELA 3).

TABELA 2 – MACRONUTRIENTES EXPORTADOS DE FLORESTAS DE *Pinus taeda* L. EM VÁRIAS IDADES

Idade (anos)	Biomassa Mg.ha ⁻¹	kg . ha ⁻¹				
		N	P	K	Ca	Mg
7	11	21,5	1,7	9,5	9,7	2,1
10	36	52,8	5,2	24	31,9	6,3
14	49	58,3	4,4	2,7	41,3	8,1

FONTE: VALERI (1988)

TABELA 3 – PESO DE MATÉRIA SECA E NUTRIENTES EXPORTADOS DE FLORESTAS DE *Pinus taeda* L. EM VÁRIAS IDADES

Idade (anos)	Biomassa Mg.ha ⁻¹	g. ha ⁻¹				
		Fe	Mn	Cu	Zn	B
7	11	533	528	50	70	103
10	36	2.019	1.233	120	204	296
14	49	2.237	1.592	181	221	362

FONTE: VALERI (1988)

Conclui Valeri (1988), que na exportação de nutrientes no povoamento de 7 anos, o nitrogênio foi o nutriente em maior quantidade na parte aérea, seguido de K, Ca, Mg, P, Mn, Fe, Zn, B e Cu. Aos 10 anos de idade, a ordem decrescente dos nutrientes foram N, Ca, K, Mg, P, Fe, Mn, B, Zn e Cu. Com 14 anos, a seqüência foi a mesma dos 10 anos, somente invertendo a ordem do Mn em relação ao Fe.

O estudo de povoamentos de 8, 12, 18 e 23 anos de *Pinus taeda*, realizado por Moro (2005), revelou que a concentração de nutrientes no lenho segue a ordem decrescente de N, Ca, K, Mg e P, sendo que nas folhas a seqüência somente é alterada pela inversão da posição do K e Ca.

Rigatto, Dedecek e Mattos (2005), analisaram os efeitos dos atributos do solo na produtividade de *Pinus taeda*, encontrando maiores correlações entre pH, potássio e Ca + Mg.

Muniz *et al.* (1975) avaliaram os efeitos da adubação NPK em pinus aos 7 anos de idade, resultando maior ação do fósforo nas plantas, com inexpressiva reação ao potássio e ao nitrogênio, que causou efeito danoso ao crescimento em altura e diâmetro das árvores.

Com a aplicação de resíduo celulósico em *Pinus taeda*, Rodrigues (2004), concluiu que os maiores teores de nutrientes nas árvores, são: K, Ca, Mg nas acículas, e Ca, Mg no lenho.

Os processos de ciclagem conseguem fornecer boa parte dos nutrientes que as árvores necessitam (FERREIRA *et al.*, 2004). A serrapilheira depositada

naturalmente no solo, após a decomposição retornam ao solo, fornecendo quantidades significativas de nutrientes (FERREIRA *et al.*, 2004).

Reissmann (2002) afirma que se houver falta de nutrientes no solo é indicado o fornecimento de fertilizantes ou resíduos urbanos e industriais, em concordância com Belote e Silva (2005).

Normalmente as quantidades de nutrientes nos resíduos são baixas, não substituindo totalmente a adubação mineral (BELOTE; SILVA, 2005). O uso de resíduos industriais conjuntamente com a adubação mineral, deverá merecer atenção da pesquisa, respeitando-se os aspectos ambientais (REISSMANN; WISNEWESKI, 2005).

Nas florestas de *Pinus* é importante se conciliar os processos de ciclagem, a atividade biológica e a aplicação de fertilizantes e resíduos orgânicos, para se manter a qualidade do sítio e a sustentação da produtividade (REISSMANN; WISNEWESKI, 2005). O equilíbrio entre a entrada e a saída de nutrientes é condição fundamental para a manutenção das produtividades, principalmente em florestas implantadas em solos pobres (GONÇALVES, 1988).

A utilização de resíduos, mesmo com baixa quantidade de nutrientes é defendida por vários autores, principalmente visando conciliar as necessidades nutricionais com os processos de ciclagem, para se manter as produtividades (BELOTE; SILVA, 2005; REISSMANN; WISNEWESKI, 2005; REISSMANN, 2002; FERREIRA *et al.*, 2004).

Espera-se ganhos significativos na produção de *Pinus* com a aplicação de resíduos de indústrias de papel e celulose, aumentando a decomposição da serrapilheira e melhorando a capacidade de retenção da água no solo (FERREIRA *et al.*, 2004).

O pH é considerado característica essencial, pois afeta a disponibilidade de todos os elementos químicos do solo, sendo influenciado pelo uso de resíduos, que causa alteração no pH do solo (HARRISON *et al.*, 2003; MELFI e MONTES, 2002; GLÓRIA, 1992; STAPPE; BALONI, 1988; COSTA *et al.*, 2002; BELOTE *et al.*, 1998).

Rigatto, Dedecek e Matos (2005) encontraram alta correlação entre o pH do solo e as produtividades de *Pinus*, que nos sítios estudados variaram de 4,3 a 5,0. O pH ideal para a espécie *Pinus* é em torno de 5,5 (CALDEIRA *et al.*, 1996).

O alumínio é um dos componentes que causam a acidez dos solos, podendo ser tóxico para as plantas, influenciando o crescimento e a produção nos solos ácidos (MALAVOLTA, 1981).

As espécies de *Pinus* toleram altos níveis de Alumínio no solo (GONÇALVES, 1995). Porém, não se deve analisar somente uma característica isolada, pois o alumínio influencia outras características do solo, como a CTC.

La Torraca *et al.* (1984), sugere que a alta concentração de alumínio nos solos cultivados com *Pinus*, pode ultrapassar os limites que a espécie pode tolerar e influenciar na produtividade.

A acidez potencial corresponde aos íons H^+ e Al^{+3} presentes na solução do solo (MALAVOLTA, 1980). Nos solos ácidos, estes íons acabam bloqueando as trocas dos cátions nos colóides do solo. À medida que se eleva o pH do solo, ocorre à remoção destes íons, liberando os locais de permuta (BUCKMAN; BRADY, 1979).

A aplicação de resíduos na maioria dos casos provoca o aumento dos teores de cálcio no solo, normalmente com altas concentrações (MELO; MARQUES; MELO, 2002; TSUTIYA, 2002; NOLASCO; GUERRINI; BENEDETTI, 2005).

É bastante complexa a relação entre matéria orgânica e uso de resíduos. Normalmente espera-se aumento no teor de matéria orgânica, com a aplicação de resíduos orgânicos no solo (MELO; MARQUES; MELO, 2002; KIEHL, 1985), causando alteração da capacidade de absorção e o aumento da CTC (MELFI; MONTES, 2002).

Em muitos casos, não ocorre o aumento dos teores no solo com a adição de resíduos orgânicos, conforme relato de diversos autores (RODRIGUES, 2004; BALBINOT JUNIOR *et al.*, 2006; REZENDE, 2005; ROCHA, GONÇALVES; MOURA, 2004; GUEDES *et al.*, 2006; SILVA, 2006; RODRIGUES *et al.* 2006; MELO *et al.*, 2004).

O potássio é um dos macronutrientes mais limitantes à produção de *Pinus* no Paraná (REISSMANN, 2002). Devido às suas características de mobilidade, é pouco presente nos processos de ciclagem, principalmente em solos mais arenosos, sendo indicada sua reposição via fertilização (REISSMANN, 2002).

Normalmente o uso de bio-sólidos não contribui para aumentos significativos das concentrações de potássio no solo (HARRISON *et al.*, 2003; MELO; MARQUES; MELO, 2002).

O fósforo é um dos nutrientes que mais limitam a produção, devendo ser repostado na forma de adubação, já que os processos naturais não conseguem disponibilizá-lo em quantidades suficientes (MALAVOLTA, 1976).

Geralmente os biossólidos são boa fonte de fornecimento de fósforo, conforme Rodrigues (2004); Andrade *et al.* (2003); Ferreira *et al.* (2001B); Melo, Marques e Melo (2002).

A produtividade de qualquer cultura é dependente da saturação em bases do solo, indicando a reação do solo (pH) e a proporção de bases presentes (KIEHL, 1979).

Indicam a ocupação por cátions dos nutrientes essenciais às plantas, ou seja, a soma das bases trocáveis e a CTC (Capacidade de troca catiônica) do solo (MELO; MARQUES; MELO, 2002), que representa a fração ativa do solo, retendo e absorvendo cátions, com ação positiva sobre íons poluentes, que são imobilizados ou retirados do ciclo, impedindo a contaminação de cursos d' água ou águas subterrâneas (MELFI; MONTES, 2002).

A saturação em bases do solo (V%) é a relação entre a soma de bases trocáveis e a CTC (capacidade de troca catiônica) do solo, indicada em porcentual (MELO; MARQUES; MELO, 2002).

Segundo Melo, Marques e Melo (2002), um teor médio da saturação em bases no solo é atingido entre 51 a 70%, sendo considerada alta entre 71 a 90%.

Raij (1981) considera, nos níveis de correção do solo baseado na elevação de saturação em bases, a elevação de 60% para culturas mais exigentes e 40% para culturas menos exigentes, correspondendo a pH de 6,0 a 5,5 respectivamente.

Segundo Ferreira *et al.* (2001) a saturação em bases no solo para florestas de Pinus, deve ficar entre 40 a 50%, bastante inferior aos índices exigidos para culturas agrícolas. Porém Dedecek (2005) alerta que a alta saturação pode prejudicar o desenvolvimento de *Pinus taeda*.

Rodrigues (2004), estabeleceu correlação bastante significativa entre a saturação em bases em todas as profundidades do solo e a produtividade de *Pinus taeda*, com uso de resíduos celulósicos.

Van Goor (1965)¹ *apud* Rigato *et al.* (2005), estabeleceu alta correlação entre a produtividade de *Pinus elliotti* e a soma de bases trocáveis.

¹ VAN GOOR, C. P. **Reflorestamento com coníferas no Brasil**: aspectos ecológicos dos plantios na Região Sul, particularmente com *Pinus taeda* e *Araucaria angustifolia*. [S.l.]: Min. da Agricultura, 1965. Não Paginado. (Boletim, 9).

O sódio tem comportamento similar ao potássio, facilmente lixiviado no perfil do solo. Também é fracamente adsorvido pelos colóides do solo (RAIJ, 1981; MALAVOLTA, 1976). As concentrações excessivas de sódio, normalmente existentes nos resíduos podem causar impactos negativos na condutividade elétrica do solo (GLÓRIA, 1992).

Os resíduos oriundos dos efluentes da indústria de papel, podem conter altas concentrações de sódio (BELOTE *et al.*, 1998; REZENDE; MATOS; SILVA, 2000). Raij (1981) comenta que o acúmulo de sódio no solo, pode trazer problemas sérios de dispersão do solo, alterando sua estrutura e comprometendo a capacidade de infiltração de água e aeração. Os excessos acumulados no solo são difíceis de correção (MALAVOLTA, 1976).

3.7 APLICAÇÃO DOS RESÍDUOS NO SOLO E NAS FLORESTAS

A adição dos biossólidos traz riscos. Podem ser temporários, afetando odor, salinização, poluição de águas, presença de organismos patogênicos; ou de longo prazo, com a presença de metais pesados e contaminantes orgânicos (TSUTIYA, 2002).

Faltam pesquisas sobre o possível efeito dos resíduos das indústrias de papel e celulose no perfil do solo e no lençol freático (BELOTE *et al.*, 1998).

Harrison *et al.* (2003), descrevem a melhoria nas características dos resíduos, favorecendo a aplicação no solo. No caso de resíduos celulósicos e de papel, a mudança de tecnologias de fabricação tem diminuído os contaminantes.

Os solos disponíveis para florestas, normalmente são pobres, sendo necessária a correção da fertilidade, bem como o aumento do teor de matéria orgânica, para assegurar maior disponibilidade dos nutrientes minerais e aumentar a capacidade de retenção de água (BELOTE *et al.*, 1998).

O solo é bastante apropriado para colocação de resíduos da indústria de celulose, devido às suas características físicas, químicas e biológicas, tendo grande capacidade de depuração destes materiais (BELOTE *et al.*, 1998).

Os solos florestais possuem boas propriedades para a adição de resíduos orgânicos, como volume de serapilheira, capacidade de infiltração e sistema de raízes perenes (HARRISON *et al.*, 2003).

O efeito dos resíduos no solo é mais pronunciado nos primeiros 10 cm iniciais de profundidade do solo. Observam-se mudanças significativas na acidez do solo, nas bases trocáveis, K, Ca da solução do solo pela maior saturação em bases (BELOTE *et al.*, 1998).

Com a aplicação de resíduos das fábricas de papel e celulose, espera-se a elevação do pH e aumento da disponibilidade de fósforo e micronutriente, o aumento da CTC (capacidade de troca catiônica), a melhoria das propriedades físicas do solo (como granulometria, retenção de água e densidade), o aumento da atividade biológica no solo, e a maior ciclagem dos nutrientes (BELOTE *et al.*, 1998).

O uso de resíduos favorece e acelera a decomposição da serrapilheira, influenciando na ciclagem dos nutrientes, disponibilizando nutrientes para as árvores também aumenta a capacidade de retenção da água (BELOTE *et al.*, 1998).

Harrison *et al.* (2003) cita que existem poucos estudos sobre a resposta de crescimento em florestas com a aplicação de resíduos de papel e celulose, comparando-se com a investigação na área agrícola.

Kinjo *et al.* (1992) descreve a utilização de efluentes de fábrica de celulose junto com resíduo industrial de fábrica de gesso, causando elevação do pH do solo.

Rodrigues (2004) descreve a aplicação de resíduo celulósico em diferentes doses (0, 20, 40, 80 e 100 t. Ha⁻¹), em solo com acidez elevada e pobre em nutrientes, com baixo teor de matéria orgânica e baixa capacidade de troca catiônica. Os resultados mostraram o aumento da matéria orgânica, das bases trocáveis, da saturação de bases e da capacidade de troca catiônica, bem como redução dos níveis de alumínio.

Os efeitos dos resíduos de fábrica de papel reciclado em plantas de milho e feijão foram estudados por Costa *et al.* (2001), com incorporação ao solo de forma isolada ou em associação com esterco. Foram testadas várias misturas em diferentes composições de esterco e resíduo celulósico, em vasos colocados em casa de vegetação, sem correção do solo.

Neste experimento, Costa *et al.* (2001) apresentou resultados negativos de produção de matéria seca nas plantas de milho, com o uso dos resíduos. No caso do feijão os efeitos negativos foram menores. Na combinação de esterco ao resíduo,

os efeitos negativos são reduzidos. A causa é a elevada relação C/N, que causa inibição de absorção de nitrogênio pelas plantas, em função da imobilização deste elemento pelos organismos do solo, sendo que no feijão, o efeito é menor, pela capacidade da planta de fixação de nitrogênio.

Balbinot Junior *et al.* (2006) utilizou resíduos de fábrica de papel reciclado misturado com calcário dolomítico, com aplicação no solo, em casa de vegetação, para avaliar as modificações nas propriedades químicas do solo. Os resultados mostram aumento no pH do solo; aumento na CTC; redução da acidez potencial; aumento na relação de cálcio e magnésio.

Em outro experimento, Costa *et al.* (2002), utilizou resíduo de fábrica de papel, em dois tipos de solo, ocorrendo mudanças no pH de solo arenoso e solo siltoso, sendo que neste último houve menor alteração, pela maior capacidade de troca catiônica e maior poder tampão. Também houve variação conforme o tipo de aplicação (com ou sem incorporação), a profundidade das camadas do solo e a época de coleta.

O diâmetro do colo é citado por diversos autores (Faustino *et al.*, 2005; Caldeira; Schumacher; Tedesco, 2000; Trigueiro, 2003), como o mais importante parâmetro do desenvolvimento para mudas, sendo um excelente indicador da definição de doses de fertilizantes.

Secchi e Casiraghi (2004) experimentaram em casa de vegetação, doses crescentes de resíduos de fábrica de papel reciclado em mudas de *Pinus taeda*. O objetivo foi verificar o uso agrícola e florestal do resíduo, os efeitos no crescimento das plantas e riscos de contaminação.

As conclusões mostram que as diferentes doses não influenciaram o diâmetro do colo e altura das mudas, após 03 meses de acompanhamento. Citam a possibilidade de uso do lodo, agregando nutrientes ao solo, como fósforo, potássio, cálcio, magnésio e manganês. Na água de percolação, os resultados mostraram baixa lixiviação de nutrientes no tratamento com resíduos, demonstrando a maior capacidade de retenção no solo proporcionada pelos resíduos, segundo Secchi e Casiraghi (2004)

Na cultura do eucalyptus, bons resultados têm sido alcançados com o uso de resíduos das indústrias de papel e celulose, com aumento de produtividade pela melhoria das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (BELOTE *et al.*, 1998).

Stappe e Balloni (1988), apontam grande potencial para uso da lama de cal, como fornecedor de nutrientes para florestas de *Eucalyptus grandis*. Os resultados mostram aumento dos teores de cálcio, diminuição dos teores de alumínio e elevação do pH. Porém, os autores citam necessidade de suplementação com adubo, para suprir os nutrientes como o potássio e magnésio.

Belote *et al.* (1998) citam a relação linear de incremento em produtividade nas florestas de *Eucalyptus grandis* pela aplicação de resíduos de celulose e adubação mineral. Os maiores incrementos em altura e volume de madeira foram obtidos com uso de doses mais elevadas de até 50 toneladas / ha.

Nolasco, Guerrini e Benedetti (2005), citam que os melhores resultados têm sido obtidos quando o material é decomposto naturalmente no campo ou passou por um processo de compostagem. A aplicação conjunta do resíduo celulósico com material como cinzas também pode trazer bons resultados.

O uso de resíduo de celulose em *Eucalyptus dunnii* em solo Latossolo vermelho-amarelo, foi estudado por Andrade *et al.* (2003). Conjuntamente com o resíduo, que sofreu compostagem ao ar livre, foi colocada adubação química com sulfato de amônia, cloreto de potássio e dosagens variáveis de fósforo. Os resíduos foram aplicados na dosagem de 0, 10, 20, 40 e 80 ton/Ha.

Andrade *et al.* (2003) relata a resposta positiva da aplicação de resíduo de celulose em floresta de *Eucalyptus* aos 06 anos de idade, com maiores produções de madeira em relação à testemunha entre 20 a 40%. A adição de fósforo ao resíduo celulósico, proporcionou ganhos entre 52 a 92% superiores.

3.8 USO DE RESÍDUOS E POLUIÇÃO NO SOLO E ÁGUA

3.8.1 Contaminação por elementos- traço e outros

Pela definição de Rocha, Rosa e Cardoso (2004), a contaminação ocorre com a alteração do meio pela presença de uma substância estranha. A poluição ocorre quando existe a alteração de alguma qualidade ambiental, em que a comunidade exposta não tem capacidade de neutralizar seus efeitos negativos, com algum tipo de risco identificado.

A viabilidade do uso de lodo de esgoto para uso agrícola vai depender da presença de metais pesados, sendo este um impacto ambiental negativo a ser considerado quando de sua utilização (PIRES *et al.*, 2005).

Os metais pesados podem ser definidos como elementos químicos com peso específico acima de 5 g.cm^{-3} e número atômico maior que 20 (TSUTIYA, 2002).

O termo metal pesado é contraditório, segundo Guilherme e Marchi (2006), pois se refere aos elementos presentes normalmente em solos e na água, mesmo sem ação antrópica. Os autores sugerem o termo elemento-traço, que se constituirá em contaminante quando ocorrer o aumento de sua concentração, principalmente ocasionada por ações antropogênicas, como atividades de mineração e atividade industrial (GUILHERME; MARCHI, 2006).

O mesmo elemento, segundo Pires *et al.* (2005), pode ser considerado elemento-traço, quando encontrado no meio ambiente em baixas concentrações, ou elemento potencialmente tóxico, quando apresentar propriedades indesejadas, especialmente a bioacumulação.

O elemento-traço pode ser essencial biologicamente, porém sob determinadas condições pode se tornar contaminante, causando impactos indesejáveis (GUILHERME; MARCHI, 2006). Assim, elementos como cobre, zinco e cobalto, são importantes na nutrição de plantas e animais, outros, como cádmio, chumbo e arsênio, podem ocasionar efeitos negativos (PIERANGELI *et al.*, 2005).

Pierangeli *et al.* (2005) cita que a presença de elementos-traço em concentrações prejudiciais, normalmente está relacionado com as atividades industriais e de mineração.

Porém, os autores destacam que elementos como cádmio, cobre e chumbo, também podem estar presentes em concentrações prejudiciais, em materiais como calcários, lodos, fertilizantes fosfatados, resíduos industriais, pesticidas e nos aterros sanitários.

Tsutiya (2002), define metais pesados como elementos químicos que provocam contaminação ao meio ambiente, podendo ser metais e semi-metais (como o alumínio, antimônio, arsênio, cádmio, chumbo, cobre, cobalto, cromo, ferro, manganês, mercúrio, molibdênio, níquel, selênio e zinco), ou mesmo não metais, caso do selênio. São encontrados normalmente no solo em concentrações que não causam toxicidade para organismos vivos.

No QUADRO 1 mostra-se a classificação de alguns metais pesados, conforme sua função.

Função	Metais
Essenciais	cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), molibdênio (Mo), zinco (Zn)
Benéficos	cobalto (Co), níquel (Ni), vanádio (V)
Não essenciais ou sem função	alumínio (Al), cádmio (Cd), cromo (Cr), mercúrio (Hg), chumbo (Pb)

QUADRO 1 – CLASSIFICAÇÃO DOS METAIS PESADOS

FONTE: TSUTIYA (2002)

A aplicação de resíduos no solo tem sido crescente, e despertado atenção pela possibilidade de contaminação do meio ambiente (TSUTIYA, 2002; HARRISON *et al.*, 2003). Deve-se observar a presença e limites de metais pesados, que podem comprometer o uso do produto (HARRISON *et al.*, 2003; GUILHERME; MARCHI, 2006; ANDREOLLI *et al.*, 1997 b).

No uso de qualquer tipo de resíduo, é necessário conhecer a caracterização química do mesmo, incluindo o conteúdo de metais pesados (MELO; MARQUES; MELO, 2002).

O tema é bastante controverso, principalmente pela falta de pesquisas em ambientes brasileiros sobre o comportamento de metais pesados (TSUTIYA, 2006).

No uso de resíduos orgânicos, segundo Harrison *et al.* (2003), é muito importante a observância dos limites de carga de contaminantes recomendadas pelos órgãos competentes.

Os danos que os metais pesados podem provocar no ambiente estão relacionados ao comportamento destes elementos no solo (PIRES *et al.*, 2005). O solo funciona como uma espécie de dreno para elementos contaminantes, exercendo poder tampão no controle do transporte de elementos químicos e outras substâncias para a atmosfera, hidrosfera e biota (GUILHERME; MARCHI, 2006).

Devido às características das áreas florestais, muitas das preocupações com saúde pública e regulamentação de aplicação de resíduo no solo, podem ser atenuadas, em relação à produção agrícola (HARRISON *et al.*, 2003).

Nas fábricas de papel reciclado, o uso de aparas, principalmente as coloridas (coloração originária de anilinas e outros compostos orgânicos), não tem trazido problemas quanto a metais pesados. Porém, se o corante utilizado for algum

óxido metálico, podem-se solubilizar metais pesados no resíduo, quando de sua disposição no solo (COMPANHIA PERNAMBUCANA DO MEIO AMBIENTE (CPRH), 1988).

Andreolli *et al.* (1997 a) citam o risco da utilização de lodo de esgoto, no que se refere ao conteúdo de metais pesados e à sanidade. Os diversos elementos traços presentes no lodo, podem sofrer reações de adsorção, complexação, precipitação, oxidação e redução, variando assim os níveis toleráveis no solo conforme o pH, capacidade de troca catiônica (CTC), o teor de matéria orgânica e a granulometria.

No caso dos biossólidos, os teores da matéria orgânica e nutrientes são os principais estímulos para o uso florestal, porém, a presença de metais pesados e a possível lixiviação de nitratos no perfil do solo merecem atenção (MOLINA *et al.*, 2006).

Molina *et al.*, 2006, relatam o experimento de *Eucalyptus grandis*, com a aplicação de bissólido de ETE, em processo de lodo ativado, aplicado no plantio com várias dosagens. Verificou-se aumento do nitrogênio total nas doses superiores a 20 toneladas /ha no solo, sem causar riscos ambientais. Os teores de cádmio e cromo no solo não sofreram aumento com o uso do biossólido, não anotada evidências de fitodisponibilidade destes elementos. Os teores de cobre, níquel e zinco aumentaram com o passar do tempo, com a aplicação de 40 t.ha⁻¹, indicando atividade de lixiviação, porém, sem afetar as árvores.

Os níveis de chumbo e zinco, em resíduo originário de fábrica de papel tissue, foram estudados por Costa *et al.* (2002). A aplicação foi em dois tipos de solo, com diferentes incorporações e camadas de solo. Em todos os tratamentos, os níveis de zinco e chumbo estiveram abaixo dos valores máximos permitidos pela legislação nacional e internacional.

Em experimento com aplicação de resíduos de reciclagem de papel, Balbinot Junior *et al.* (2006) concluíram que o material não causou aumentos dos teores de metais pesados no solo.

Secchi e Casiraghi (2004), detectaram a presença de coliformes fecais na água percolada, em resíduo de fábrica de papel reciclado, indicando neste caso, a necessidade de compostagem para o uso agrícola ou florestal do produto, ou a mudança nos processos biológicos.

3. 8.2 Contaminação da água

A água é um recurso abundante, porém 97,3% são representadas pela água salgada e apenas 2,7% de água doce (ROMERA E SILVA, *et al.*, 2003). O consumo de água no mundo é crescente com a expansão industrial, urbana e agrícola (ANDREOLI *et al.*, 2003). A demanda pela água é maior que o crescimento populacional, e conseqüentemente maior é a produção de efluentes, que contribuem para perda na qualidade e comprometem seu potencial de uso (ANDREOLI *et al.*, 2003).

Os poluentes podem ser qualquer substância, física ou química, presentes em excesso na água, capazes de causar algum efeito negativo e prejudicial ao seu uso (ANDREOLI *et al.*, 2003). A degradação dos sistemas agrícolas contribui para o comprometimento dos recursos hídricos. A qualidade da água é afetada basicamente pela quantidade de oxigênio dissolvido para a oxidação da matéria orgânica oriunda de várias fontes; entre elas fertilizantes, dejetos de suínos e despejos industriais (CARNEIRO; PEGORINI; ANDREOLI, 2005).

A atividade agropecuária contribui para a contaminação de mananciais, pela capacidade de degradação ambiental (MERTEN; MINELLA, 2002). Um poluente no solo pode ser lixiviado para regiões mais profundas através dos processos de recarga natural ou artificial (como a irrigação) até atingir o aquífero (LEITÃO *et al.*, 2003).

O manuseio incorreto de resíduos sólidos pode provocar poluição das águas, podendo atingir águas subterrâneas, causando sérios danos ao meio ambiente (OLIVEIRA; PASQUAL, 2004). A contaminação do aquífero pode causar problemas de difícil solução, em alguns casos impossíveis de recuperação, permanecendo o mesmo, poluído por muitos anos (RIZZI, 2003).

Os principais poluentes das águas superficiais, segundo Bolmann, Caneiro e Pegorini (2005), são os sólidos em suspensão, o material orgânico, os nutrientes (fósforo e nitrogênio), os metais pesados, bactérias e vírus.

A poluição das águas é uma das maiores preocupações quando da disposição de qualquer tipo de resíduo no solo, com os processos de lixiviação podendo atingir águas subterrâneas (LEITÃO *et al.*, 2003; OLIVEIRA; PASQUAL, 2004); causando sérios danos, com difícil correção da contaminação (RIZZI, 2003).

3. 8.2.1 Nitrogênio na água

O nitrogênio em recursos hídricos, apresenta-se de diversas formas, como nitrato (NO_3^-); nitrito (NO_2^-); amônia (NH_3); nitrogênio molecular (N_2) e nitrogênio na forma orgânica (MACÊDO, 2004). Sua presença está ligada aos esgotos sanitários, efluentes industriais, escoamento das águas agrícolas, fertilizantes nitrogenados e drenagem urbana (INSTITUTO AMBIENTAL DO PARANÁ - IAP, 2005; COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL - CETESB, 2006).

Para os diversos processos biológicos, o nitrogênio é considerado essencial, porém em excesso, facilita a proliferação de seres vivos (como algas), levando à eutrofização das águas (BOLMANN; CANEIRO; PEGORINI, 2005; CETESB, 2006).

Alaburda e Nishihara (1998), citam os riscos do nitrogênio e seus diferentes compostos à saúde humana, com seu consumo através das águas de abastecimento. As crianças podem ser prejudicadas pela toxicidade dos nitratos, causando danos respiratórios (BAIRD, 2002). Os nitratos e nitritos podem estar ligados à formação de nitrosaminas e nitrosamidas carcinogênicas (ALABURDA; NISHIHARA, 1998).

O nitrogênio amoniacal e o nitrato, são formas de nitrogênio facilmente assimiláveis pelas plantas, sendo que o nitrogênio orgânico necessita de mineralização biológica para sua absorção (TSUTIYA, 2002).

O nitrogênio amoniacal possui bastante potencial de poluição nas águas, sendo um dos responsáveis pelo aparecimento de algas (CETESB, 2006); (MACÊDO, 2004), que contribui para os processos de eutrofização de lagos e represas (MACÊDO, 2004).

O biossólidos contém cerca de 1 a 6% de nitrogênio (base seca) nas formas orgânicas e inorgânicas, sendo considerado um fator limitante para se calcular a taxa de aplicação, pois em doses mais elevadas, pode ocorrer a lixiviação e contaminação do lençol freático (TSUTIYA, 2002).

Andrade e Matiazzo (2000), citando diversos autores relatam a possibilidade de contaminação por nitratos, no solo e nas águas subterrâneas, com a utilização de resíduos contendo nitrogênio.

Bertol (2005), indica o risco de lixiviação de N nas camadas superficiais de solos adubados com adubo orgânico, indicando o acúmulo causado pelas enxurradas.

Os nitratos (NO_3^-) causam problemas devido à sua mobilidade, podendo poluir mananciais de água. As quantidades que o solo não tem capacidade de assimilar resultam em lixiviação (HARRISON *et al.*, 2003).

3. 8.2.2 Fósforo na água

O fósforo, mesmo vital para processos biológicos, quando em excesso, combinado com altas concentrações de nitratos e nitritos, contribuem para o crescimento de algas nos reservatórios, contribuindo para os processos de eutrofização das águas (BOLMANN; CARNEIRO; PEGORINI, 2005; CETESB, 2006; MACÊDO, 2004).

Na água, o fósforo apresenta-se sob várias formas, como ortofosfatos (PO_4^- , HPO_4^{-2} , H_2PO_4^-); polifosfatos e fósforo orgânico (MACÊDO, 2004; IAP, 2005).

É um elemento dos mais importantes, considerado vital para os organismos vivos, sendo considerado um macronutriente exigido em grandes quantidades pelas células (MACÊDO, 2004; IAP, 2005; CETESB, 2006).

Os valores máximos da Resolução CONAMA n.º 357/2005 para Ortofosfatos, consideram o ambiente lântico (água parada) e ambiente lótico (águas continentais moventes), onde o valor máximo permitido para o fósforo total é de 0,1 mg/l.

As atividades antrópicas têm contribuído para concentrações preocupantes de fósforo, segundo relato de autores, como Mansor (2005); Villa (2005); Bolmann, Carneiro e Pegorini (2005).

Nas águas, o fósforo aparece normalmente ligado às descargas de esgotos sanitários, nos lançamentos de efluentes industriais e na drenagem de áreas agrícolas e urbanas (CETESB, 2006).

Normalmente, nos bio sólidos, a quantidade de fósforo é menor em relação ao nitrogênio, podendo ocasionar contaminação nas águas superficiais, dependendo das quantidades a serem utilizadas (WEBBER E BATES ¹ *apud* 1997 TSUTIYA, 2002).

¹ WEBBER, M.D.; BATES, T.E.. **Municipal sludge (biosolid) use on agricultural land**. Water Technology Corporation. Canada. 1997.

3. 8.2.3 Contaminação da água por outros elementos

O alumínio surge na água com a presença de fluoretos, sulfatos e matéria orgânica, sendo influenciado pelo pH mais baixo. O aumento da concentração está relacionado com a turbidez da água. Os riscos ao ser humano se dão pela ingestão de alimentos e bebidas, estando associado a várias doenças. O excesso de alumínio é prejudicial às plantas (CETESB, 2006).

A toxicidade causada pelo alumínio e seus compostos é baixa. As altas concentrações causam turbidez na água (CETESB, 1999).

O alumínio forma complexos na água, influenciado pelo pH, temperatura, presença de sulfatos, matéria orgânica e outros componentes (CETESB, 1999). No solo ocorre naturalmente sua dissolução para neutralizar a entrada de ácidos (CETESB, 1999).

O bário pode ser prejudicial à saúde humana (LENNTECH, 2006). Normalmente presente em baixas concentrações, é originário de atividades industriais (CETESB, 2006). Aparece combinado com outros elementos, sendo bastante solúvel e ativo quimicamente, podendo alcançar longas distâncias a partir da emissão.

A presença de cádmio nas águas, tem origem na contaminação oriunda de indústrias (MACÊDO, 2004). É um metal bastante tóxico ao ser humano, com efeitos cumulativos (MACÊDO, 2004). A aplicação de lodo de esgoto como fertilizante pode ser uma fonte de cádmio (CARDOSO; CHASIN, 2001).

O chumbo é sempre citado como um dos metais presentes em diversos resíduos (TSUTIYA, 2002), como os resíduos de fábricas de papel (COSTA *et al.*, 2002).

O chumbo chega à água através das descargas de efluentes das indústrias (CETESB, 2006). Tem efeito acumulativo, causando danos ao sistema nervoso do ser humano. Normalmente sua concentração não ultrapassa 0,1 mg/l (MACÊDO, 2004). O elemento é utilizado como padrão de potabilidade da água nos Estados Unidos, onde o valor máximo permitido é de 0,3 mg/l, o mesmo padrão adotado pelo ministério da saúde no Brasil (CETESB, 2006).

O cobre normalmente não aparece em quantidades significativas nas águas naturais (BABBIT; DOLLAND; CLEASBY, 1967; MACÊDO, 2004). Sua concentração pode variar de 1,0 a 2,0 mg/l (PEDROSO; LIMA, 2001). Quando presente em

concentrações mais elevadas, é prejudicial à saúde humana e confere sabor desagradável às águas (MACÊDO, 2004; CETESB, 2006).

Normalmente as concentrações de Cromo em água doce são baixas (CETESB, 2006). O cromo pode estar presente nas águas em sua forma hexavalente mais estável (SILVA; PEDROSO, 2001), devido, principalmente aos despejos industriais (SILVA; PEDROSO, 2001; BABBIT; DOLLAND; CLEASBY, 1967), podendo causar danos ao organismo humano (MACÊDO, 2004).

As indústrias de papel e celulose são citadas como fornecedoras de cromo para o meio ambiente (MELO; MARQUES; MELO, 2002).

Os fenóis são tóxicos ao homem e organismos aquáticos, surgindo nas águas pelas descargas industriais (BABBIT; DOLLAND; CLEASBY, 1967). Sua tolerância é bastante restritiva, com limite máximo de 0,001 mg/l, conforme o Ministério da Saúde (CETESB, 2006).

A presença de fenóis nas águas naturais normalmente é associada à poluição por atividades industriais (CETESB, 2006; BABBIT; DOLLAND; CLEASBY, 1967), como o uso de produtos desinfetantes pelas indústrias (SISINNO, 2003). São tóxicos ao ser humano e organismos aquáticos, com limites bastante restritivos para sua concentração nas águas (CETESB, 2006).

Os compostos fenólicos aparecem como subprodutos da indústria de papel, devido à presença de lignina e tanino, segundo Yabe *et al.* (2000). A presença de fenol pode causar distúrbios gastrointestinais, segundo SISINNO (2003).

Também estão presentes na matéria orgânica do solo, surgindo durante os processos de humificação no solo (KIEHL, 1985; YABE *et al.*, 2000).

O ferro muitas vezes ocorre associado ao manganês (MACÊDO, 2004) e não é prejudicial à saúde (CETESB, 2006; BABBIT; DOLLAND; CLEASBY, 1967), porém confere à água sabor amargo e cor amarela e turva (MACÊDO, 2004).

O limite de ferro na água potável, segundo o Ministério da Saúde, é de 0,30 mg/l (CETESB, 2006). As concentrações entre 1 a 3 mg/l são aceitas pela Organização Mundial de Saúde, segundo Lima e Pedroso (2001) citando WHO¹ (1993).

O manganês pode ser encontrado em forma mais solúvel ou menos solúvel, sendo considerado elemento biológico essencial, tanto para seres humanos como animais (MARTINS; LIMA, 2001).

¹ WHO – WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Guidelines for drinking-water quality recommendations**. 2.nd. ed. Geneva, 1993.v.1.

Na água, o manganês tem comportamento muito semelhante ao ferro, com ocorrência mais rara (CETESB, 2006). Em excesso, pode trazer problemas neurológicos (MACÊDO, 2004). As concentrações menores que 0,05 mg/l são aceitáveis em mananciais, ocorrendo em concentrações em torno de 0,2 mg/l (CETESB, 2006).

O mercúrio é um elemento dos mais nocivos ao homem e ao meio ambiente, mesmo assim, é utilizado em centenas de aplicações humanas (BAIRD, 2002). Sua presença na água é devido às atividades industriais e ao garimpo (MACÊDO, 2004), aparecendo fixado nos sólidos em suspensão (BAIRD, 2002). O limite de potabilidade para a água é de 0,001 mg/l (CETESB, 2006).

Os surfactantes ou detergentes, em termos analíticos, são compostos que reagem ao azul de metileno sob determinadas condições laboratoriais, obtendo-se como referência (padrão) concentrações de alquil benzeno linear (LAS).

Na forma líquida ou sólida, os surfactantes são utilizados em limpeza. Causam espumas, transmitem odor às águas e dificultam os processos de tratamento, podendo ser tóxicos aos peixes (BABBIT; DOLLAND; CLEASBY, 1967).

Rocha, Pereira e Pádua (1985) alertam para a contaminação de represas por surfactantes, acarretando gosto atípico na carne dos peixes, podendo abrigar bactérias e fungos patogênicos, além de metais pesados.

O sódio está presente nas águas naturais, sob forma de sais solúveis, geralmente com níveis abaixo de 50 mg/L (CETESB, 2006). É considerado um macronutriente essencial para os seres vivos, com bastante abundância no meio ambiente. Quando presente em altas concentrações, causa perda de permeabilidade no solo, pelo bloqueio dos poros (MELO; MARQUES; MELO, 2002).

A presença de coliformes termotolerantes, (BASTOS *et al.*, 2000), indicam a contaminação de águas naturais por vários gêneros de bactérias, incluindo os fecais, podendo ser transmissores de doenças de veiculação hídrica, como a febre paratifóide, desintéria bacilar e cólera (CETESB, 2006).

Outros elementos causam problemas de poluição nas águas, como o sódio, níquel, zinco, flúor e cobalto (CETESB, 2006).

3.9 LEGISLAÇÃO E LIMITES DE SUBSTÂNCIAS NOCIVAS

O CONAMA, pela Resolução n.º 357 de 17 de março de 2005, dispõe sobre a classificação dos corpos de água e estabelece diretrizes ambientais, normalizando as condições e padrões de lançamento de efluentes (BRASIL, 2005).

Em seu artigo 29, a resolução cita que a disposição de efluentes no solo não poderá causar poluição ou contaminação das águas. A resolução cria padrões de qualidade físico-química da água no Brasil, estabelecendo limites para determinadas substâncias (BRASIL, 2005).

A maioria dos trabalhos científicos citando limites nos resíduos e a legislação, refere-se ao lodo de esgoto oriundo de cidades, incluindo o sanitário. Não há legislação específica sobre resíduos de fábrica de papel e celulose. Porém, mesmo com diferenças, este material é o que mais se aproxima do lodo de ETE das fábricas de papel, podendo servir de referencial ou parâmetro para se avaliar os outros esgotos oriundos da indústria.

A ABNT criou um padrão para a classificação dos resíduos sólidos, de acordo com suas características químicas, propriedades físicas e potencial infecto-contagioso (NOLASCO, 2000; ZANTA; FERREIRA, 2003).

A norma NBR n.º 10004 da ABNT foi criada em 1987 e revisada em 2004 (ABNT, 2006). Os elementos nocivos são citados na norma e estabelecidos parâmetros para os resultados dos testes laboratoriais, onde são analisados os extratos lixiviados (ABNT, 2004b) e solubilizados (ABNT, 2004c).

A norma não tem o objetivo de permitir ou não a utilização de determinado resíduo sólido, mas somente efetuar a classificação como perigoso ou não perigoso (ABNT, 2006). Contempla a maior parte dos resíduos, porém, se o produto não se enquadrar nos quesitos, os órgãos responsáveis terão a incumbência da definição (NOLASCO, 2000).

Segundo a Norma NBR 10004 (QUADRO 2), os resíduos são classificados em classes, conforme suas características e propriedades:

Classificação	Características
Resíduos classe I – perigosos	Apresentam periculosidade relacionada à inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade. Podem trazer riscos à saúde pública e efeitos adversos ao meio ambiente, quando manuseados ou dispostos de forma inadequada
Resíduos classe II A - não perigosos - não inertes	Não se enquadram na classe I – perigosos ou na Classe III – inertes. Podem apresentar propriedades como combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade em água.
Resíduos classe II B - não perigosos - inertes	Resíduos que submetidos a teste de solubilização (Norma NBR 10006), não tenham nenhum de seus componentes solubilizados em concentrações superiores aos limites fixados na listagem anexa da norma. Não representam riscos à saúde pública e ao meio ambiente

QUADRO 2 – CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS PELA NBR 10004
 FONTE: ABNT (2004)

A ABNT considera a norma como uma ferramenta para o gerenciamento dos resíduos, dependendo de suas características. Porém, a escolha de alternativa e sua destinação, depende de vários fatores, como a composição química, o teor de contaminantes e seu estado físico. Também o resíduo deve obedecer aos requisitos exigidos pelos órgãos responsáveis (ABNT, 2006).

O uso mais intenso de lodos agrícolas aumentou o perigo da acumulação de metais pesados e outros contaminantes, trazendo sérios riscos ao ecossistema (TSUTIYA, 2006; CARVALHO; CARVALHO, 2002).

No Estado de São Paulo, a (Cia. de Tecnologia de Saneamento Ambiental - CETESB, criou normas regulamentadoras do uso dos lodos resultantes de tratamentos biológicos, baseado nos critérios adotados pela legislação dos Estados Unidos, adotada pela USEPA - United States Environmental Protection Agency .

Esta norma passou a ser seguida em vários estados brasileiros, como no Paraná e São Paulo e no Distrito Federal, apesar das diferenças de clima e solo (PIRES, 2003).

As normas para o uso de biossólidos variam de acordo com a realidade dos agroecossistemas e das características dos lodos produzidos em cada país, não se aplicando diretamente às condições brasileiras (ANDREOLLI; PEGORINI, 1998).

Comparando com o Brasil, normalmente os lodos de países desenvolvidos apresentam menor índice de contaminação por patógenos e nível mais elevado de metais pesados (ANDREOLLI; PEGORINI, 1998).

As condições ambientais no Brasil também são muito diferentes, como o clima temperado, solos alcalinos e com maior CTC, determinando a menor solubilização de metais pesados e maior grau de fixação dos mesmos ao solo, sendo este um dos maiores problemas de uso do lodo (ANDREOLLI; PEGORINI, 1998).

Em nosso país, predomina o clima tropical e solos ácidos, tornando os lodos ótima opção para a correção da acidez, reduzindo a disponibilidade dos metais pesados no solo e minimizando o problema. Também são menores as contaminações por patógenos (ANDREOLLI; PEGORINI, 1998).

A legislação dos Estados Unidos serve de base para a legislação no Estado de São Paulo, gerenciada pela CETESB, que estabelece os limites de metais pesados nos biossólidos e servirá de parâmetro para a regulamentação da legislação federal sobre aplicação de lodos (CARVALHO; CARVALHO, 2002; TSUTIYA, 2006).

Andreolli e Pegorini (1998) sugerem que a regulamentação não deve servir apenas como forma de resolver um entrave urbano, mas ser baseada em estudos e critérios para permitir o uso seguro dos lodos.

O CONAMA criou um grupo de estudos para a regulamentação do uso dos lodos agrícolas, existindo divergências entre os especialistas em relação a metais pesados, devido à falta de pesquisas de longa duração em ambientes brasileiros (TSUTIYA, 2006).

Diversos países estabeleceram limites à aplicação de lodos, conforme tabelas em anexo, na Europa prevalece a ênfase do “impacto zero”, sugerindo que as quantidades de metais a serem adicionadas ao solo, devem apenas repor as perdas pela remoção das culturas, processos erosivos e lixiviação do solo.

A Agência Ambiental dos Estados Unidos (EPA), estabelece avaliações de risco mais críticas para permitir o uso de lodo na agricultura, listando os poluentes e seus limites anuais e cumulativos no solo (CARVALHO; CARVALHO, 2002; TSUTIYA, 2006). A tabela completa com os limites máximos de metais pesados encontra-se no ANEXO 2.

O CONAMA estabeleceu na Resolução n.º 375 de 29 de agosto de 2006, as normas para o uso agrícola de lodos oriundos de estações de tratamento sanitário e seus produtos derivados. Os limites máximos de metais pesados (TABELA 4), são citados no artigo 11 (BRASIL, 2006).

TABELA 4 – LIMITES MÁXIMOS DE CONCENTRAÇÃO DE SUBSTÂNCIAS INORGÂNICAS PELA RESOLUÇÃO CONAMA n.º 375

Substâncias Inorgânicas	Concentração Máxima permitida no lodo de esgoto ou produto derivado (mg / kg base seca)
Arsênio	41
Bário	1300
Cádmio	39
Chumbo	300
Cobre	1500
Cromo	1000
Mercúrio	17
Molibdênio	50
Níquel	420
Selênio	100
Zinco	2800

FONTE: BRASIL (2006)

Até a entrada em vigor da resolução do CONAMA n.º 375 não existia uma legislação federal específica para o uso de bioossólidos na agricultura (CARVALHO; CARVALHO, 2002).

Por esta resolução, deverá haver o monitoramento das características do lodo, conforme as dosagens (base seca) utilizadas, podendo ser mensal (até 60 toneladas por ano) ou anual (acima 15.000 toneladas por ano).

Em seu artigo 17 (BRASIL, 2006) adota para a taxa máxima de aplicação do lodo, o menor valor encontrado dos seguintes critérios:

- I – O quociente entre a quantidade de nitrogênio recomendado para a cultura e o teor de nitrogênio disponível no lodo;
- II – O pH final da mistura solo-lodo não deverá ultrapassar o limite de 7,0;
- III – Devem ser observados os limites de carga total, acumulada no solo, quanto à aplicação do lodo, conforme TABELA 5.

TABELA 5 - CARGA ACUMULADA TEÓRICA PERMITIDA DE SUBSTÂNCIAS INORGÂNICAS PELA APLICAÇÃO DO LODO DE ESGOTO OU PRODUTO DERIVADO PELA RESOLUÇÃO CONAMA n.º 375

Substâncias Orgânicas	Carga acumulada teórica permitida de substâncias inorgânicas pela aplicação do lodo de esgoto ou produto derivado (kg. Ha-1)
Arsênio	30
Bário	265
Cádmio	4
Chumbo	41
Cobre	137
Cromo	154
Mercúrio	1,2
Molibidênio	13
Níquel	74
Selênio	13
Zinco	445

FONTE: BRASIL (2006)

A Resolução n.º 375 /2006 (BRASIL, 2006) também traz restrições ao uso em unidade de conservação, em área de preservação permanente e em áreas de mananciais. Indica distâncias mínimas de poços rasos e residências (100 metros) e de vias públicas, drenos, divisores de águas (15 metros).

As declividades não poderão ultrapassar 10% no caso de aplicação superficial sem incorporação, 15% com incorporação no solo, 18% no caso de aplicação subsuperficial e em sulcos, e no caso de aplicação superficial sem incorporação em áreas de produção florestal (BRASIL, 2006).

Existem limites quanto à profundidade do nível aquífero freático, que não deve ser inferior a 1,5 metros na cota mais baixa do terreno; e também o solo deve apresentar mais de 50 cm até o horizonte C (BRASIL, 2006).

Fica proibida a utilização de qualquer tipo de lodo em pastagens ou culturas olerícolas, tubérculos e raízes, e culturas inundadas, bem como qualquer outra cultura que a sua parte comestível tenha contato com o solo (BRASIL, 2006).

Na resolução, os lodos foram classificados conforme a presença de agentes patogênicos (QUADRO 3).

Tipo de lodo de esgoto ou produto derivado	Concentração de patógenos *
A	Coliformes Termotolerantes < 10 ³ NMP / g de ST Ovos viáveis de helmintos < 0,25 ovo / g de ST <i>Salmonella</i> ausência em 10 g de ST Vírus < 0,25 UFP ou UFF / g de ST
B	Coliformes Termotolerantes < 10 ⁶ NMP / gde ST Ovos viáveis de helmintos < 10 ovos / g de ST

QUADRO 3 – CLASSIFICAÇÃO DOS LODOS - RESOLUÇÃO CONAMA n.º 375

FONTE: BRASIL (2006)

NOTA: * ST- Sólidos Totais / NMP - Número Mais Provável / UFF- Unidade Formadora de Foco
UFP - Unidade Formadora de Placa

Para a concentração de patógenos utiliza-se o chamado NMP (“número mais provável”), é definido por Souza e Guerra (1998), como uma técnica utilizada para estimar-se a densidade de um microorganismo, com diluições sucessivas, seguido de amostragens de cada diluição, incubação e avaliações do crescimento do organismo desejado. Com o uso do NMP, não se faz contagem direta dos microorganismos.

O lodo tipo B somente pode ser utilizado em algumas culturas agrícolas listadas na norma e em silvicultura (BRASIL, 2006).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL

4.1.1 Localização e clima

O experimento foi realizado na casa de vegetação do Centro Nacional de Pesquisa de Florestas (CNPF), da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), em Colombo, Estado do Paraná. A casa de vegetação é totalmente fechada, possuindo janelas e telhado de vidro, com ventilação natural, sem controle de umidade.

Os solos e resíduos utilizados foram coletados na Localidade de Volta Grande, Município de Rio Negrinho, Norte do Estado de Santa Catarina, na região de Alto Vale do Rio Negro (FIGURA 1).

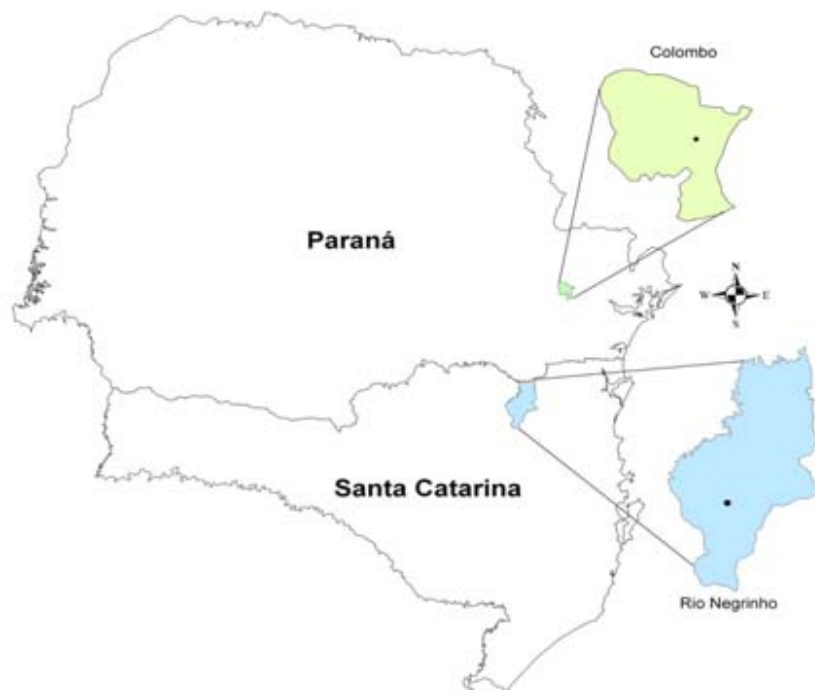


FIGURA 1 – LOCALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO

O clima local é classificado como Cfb (Classificação de Köppen), com ocorrência de geadas severas e freqüentes, temperatura média do mês mais frio é inferior a 18° C e a temperatura do mês mais quente é superior a 22° C, sem

estação seca e precipitação ao redor de 1.400 mm, umidade relativa do ar anual superior a 80% (INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ - IAPAR, 2000).

Na região de coleta dos solos, predomina o mesmo tipo de clima já descrito (Cfb), com precipitação ao redor de 1.500 mm anuais e umidade relativa do ar acima dos 80% (ASSOCIAÇÃO EMPRESARIAL DE RIO NEGRINHO - ACIRNE, 2007).

Segundo Carpanezzi *et al.* (1988) a temperatura média da região é de 16,4° C, com média de 9,8 geadas por ano, sem apresentar déficit hídrico, com cerca de 1.618 mm de precipitação anual e evapotranspiração potencial de 779 mm anuais.

4.1.2 Descrição dos solos

Os solos coletados para o experimento foram escolhidos pela maior ocorrência na área da empresa estudada, no município de Rio Negrinho. Foram dois tipos de solos, com as principais características descritas a seguir.

O primeiro solo é definido pela EMBRAPA (1999), como NEOSSOLO, coletado em florestas de Pinus (idade de 01 ano), na localidade de Cerro Azul.

Este solo é pouco evoluído, com ausência de horizonte B, considerado ainda em formação pelas características do material de origem ou pela baixa intensidade dos processos pedogenéticos. O horizonte A nos Neossolos estão dispostos em seguida ao horizonte C (EMBRAPA, 1999).

Segundo a EMBRAPA (1999) é classificado no 2° nível hierárquico como NEOSSOLO REGOLÍTICO, com horizonte A sobrejacente ao horizonte C.

No 3° nível hierárquico, é considerado como NEOSSOLO REGOLÍTICO Distrófico, por apresentar saturação de bases ($V \leq 50\%$) nos primeiros 120 cm iniciais (EMBRAPA, 1999).

No 4° nível hierárquico, de sub-grupos, recebe a classificação de NEOSSOLO REGOLÍTICO Distrófico húmico, por apresentar horizonte A húmico. A simbologia adotada para este tipo de solo é RRd (EMBRAPA, 1999).

O segundo solo coletado em florestas de Pinus (3 anos), na localidade de Volta Grande, classificado pela EMBRAPA (1999), como CAMBISSOLO, pouco desenvolvido, com horizonte B incipiente, com pedogênese pouco avançada.

Foi classificado no 2° nível hierárquico como CAMBISSOLO HÚMICO, com horizonte A húmico (EMBRAPA, 1999).

No 3° nível hierárquico da classificação, recebe a denominação de CAMBISSOLO HÚMICO Distrófico, pela baixa saturação em bases ($V \leq 50\%$) na maior parte do horizonte B. Pelas suas características, no 3° nível hierárquico é considerado CAMBISSOLO HÚMICO Distrófico típico, com simbologia – CHd (EMBRAPA, 1999).

Dos dois tipos de solos, foram coletadas 05 sub-amostras em cada área, que compuseram a amostra final. Em ambas as coletas foram obedecidas nas retiradas de solo, as profundidades de 0-10 cm; 10 a 20 cm e 20 a 30 cm; identificados e colocados em sacos plásticos.

No desenvolver do texto, adota-se a denominação de Neossolo para o Solo NEOSSOLO REGOLÍTICO Distrófico húmico, e para o solo CAMBISSOLO HÚMICO Distrófico típico, a denominação de Cambissolo.

Na FIGURA 2, apresentamos uma vista dos perfis dos solos citados.



NEOSSOLO REGOLÍTICO Distrófico húmico



CAMBISSOLO HÚMICO Distrófico típico

FIGURA 2 – PERFIS DOS SOLOS UTILIZADOS NO EXPERIMENTO

4.1.3 Empresa fornecedora do resíduo de papel

O resíduo é originário da empresa CVG – Cia. Volta Grande de Papel, com o parque industrial localizado na Vila de Volta Grande, Município de Rio Negrinho, Estado de Santa Catarina.

A empresa é produtora de papel da linha higiênica (tissue), produzindo papel higiênico, toalha descartável e guardanapo. Possui três máquinas de produção de papel, com produção mensal de cerca de 2.000 toneladas de papel.

Utiliza como matéria prima a pasta de papel reciclado, proveniente de centros como São Paulo, Curitiba e Rio de Janeiro. Dependendo do produto a ser fabricado, pode utilizar celulose virgem na fabricação.

4.2 DESCRIÇÃO DO EXPERIMENTO

A concepção da metodologia utilizada no presente trabalho, foi utilizada por vários autores, com utilização de colunas, vasos, tubos ou sistemas semelhantes, como Secchi e Casiraghi (2004); Costa *et al.*, (2001); Costa *et al.* (2002); Prado e Juliatti (2003); Bertol *et. al.* (2005); Balbinot Junior *et al.* (2006).

4.2.1 Montagem dos vasos

Os vasos do experimento foram construídos sob uma base cilíndrica de concreto, onde foi fixado um filme plástico (acetato), com 37 cm de altura e 15 cm de diâmetro. A área útil interna é de 30 cm de altura e 13 cm de diâmetro. As plantas e vasos foram colocados em mesas a 1,20 metros do solo.

O uso do plástico transparente permite o acompanhamento do crescimento de raízes no interior do vaso.

Na proteção do vaso, um tubo de PVC rígido, facilmente removível, o qual além da função protetora, também inibe a entrada de luz, não permitindo o crescimento de algas e outros organismos. No fundo do tubo, foi adicionado cerca de 3 cm de sílica, para não ocorrer entupimentos de terra nos vasos (FIGURA 3).

Também foi colocada uma mangueira plástica fina, dotada de equipamento semelhante a dispositivo dosador de soro hospitalar, para permitir a drenagem e coleta da água para análise, sempre mantido fechado, sendo aberto somente no final do experimento.



FIGURA 3 – MONTAGEM DOS VASOS EXPERIMENTAIS

4.2.2 Descrição da geração do lodo na estação de tratamento de efluentes

No processo de produção, as aparas são processadas, sofrendo trituração, depuração e refinação. São retiradas todas as impurezas contidas nas aparas, como areia, grampos e plásticos (FIGURA 4).

A massa formada de fibras segue para as máquinas formadoras do papel, onde o excedente de água retorna ao processo para se retirar o remanescente de fibras, tendo a água o destino da Estação de Tratamento de Efluentes (ETE), juntando-se às outras águas que sobram de outros processos na fabricação.

Na ETE (FIGURA 4), a água contendo fibras sofre adição de polímeros e agentes flotores (Sulfato de Alumínio), para facilitar a decantação e clarificação.

A decantação é feita em diversos tanques, sendo o lodo bombeado para máquinas centrífugas, onde se separa a água do lodo. Cerca de 90% das fibras restantes no lodo são retiradas no processo, que é considerado como processo primário de tratamento.



FIGURA 4 - DEPÓSITO DE APARAS E ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES DA CVG

O lodo centrifugado, com umidade ao redor de 60% (sessenta por cento), é composto basicamente por fibras celulósicas não aproveitadas no sistema de produção.

Segue para um depósito, de onde é carregado e transportado para o aterro industrial da empresa. A produção diária é de cerca de 16 toneladas/dia de lodo úmido (FIGURA 5).



FIGURA 5 – RESÍDUO CENTRIFUGADO E ATERRO INDUSTRIAL NA CVG

A água resultante do processo segue sucessivamente para 03 lagoas anaeróbicas, onde sofre tratamento biológico, com adição de nutrientes (nitrogênio e fósforo) e enzimas, para facilitar a decomposição da matéria orgânica. Após as lagoas, a água segue para o rio, dentro dos padrões exigidos pela legislação.

4.2.3 Deposição final do lodo na empresa

Atualmente o lodo produzido é destinado ao aterro industrial da empresa, localizado a cerca de 3 km da indústria. Ocupa área total de dez hectares e funciona com células tipo trincheira, com revestimento de lona de alta resistência.

Nas células são colocados tubos para saída de gases e para o escoamento de líquidos (chorume), que seguem para uma lagoa de tratamento.

4.2.4 Coleta do resíduo para experimentação

O resíduo da fábrica de papel reciclado foi coletado no dia 12/09/2005, na empresa CVG – Cia. Volta Grande de Papel, em Rio Negrinho, SC. Após a coleta, o resíduo foi enviado ao laboratório de solos do EMBRAPA em Colombo, onde foi triturado e seco em estufa, antes da utilização no experimento.

4.2.5 Análise do resíduo em laboratório

O resíduo de fábrica de papel foi enviado ao Laboratório do Serviço nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI), em Curitiba, PR. Foi realizada a análise dos seguintes parâmetros: pH em água, Umidade, Coliformes total, Coliformes fecais, Detergentes, Nitratos, Nitritos;, Sulfato, Enxofre, Fenóis, Fósforo total, Nitrogênio Total, Cinzas, Matéria Orgânica, Carbono Total, Alumínio, Arsênio, Bário, Berilo, Boro, Cádmio, Cálcio, Chumbo, Cobalto, Cobre, Cromo total, Ferro, Magnésio, Manganês, Mercúrio, Molibdênio, Níquel, Potássio; Sódio e Zinco.

4.2.6 Montagem da mistura de solo e resíduos nos vasos

Os vasos foram preenchidos com os dois tipos de solo, previamente peneirados e secos em estufa, seguindo a distribuição dos horizontes da coleta no campo. O resíduo foi adicionado ao vaso, colocado na superfície sem incorporação nas quantidades proporcionais aos tratamentos estabelecidos, de acordo com a área útil do vaso (FIGURA 6).

4.2.7 Plantio nos vasos do experimento

A espécie plantada foi *Pinus taeda L.*, nos vasos já preparados com solo e lodo. As mudas produzidas em tubetes foram originárias do viveiro florestal da Embrapa, estando na época com cerca de 45 dias. A data de replantio nos vasos foi 04/01/06.



FIGURA 6 – MISTURA SOLO E RESÍDUOS NOS VASOS

4.3 DELINEAMENTO ESTATÍSTICO E TRATAMENTOS

4.3.1 Delineamento estatístico

O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado.

4.3.2 Tratamentos e repetições

O experimento foi montado em 02 tipos de solo: Neossolo e Cambissolo, com 05 tratamentos e 03 repetições:

- a) T1 - Tratamento 1 : 0 t / ha (Testemunha)
- b) T2 - Tratamento 2 : 10 t / ha
- c) T3 - Tratamento 3 : 20 t / ha
- d) T4 - Tratamento 4 : 40 t / ha
- e) T5 - Tratamento 5 : 80 t / ha

Todos os vasos foram identificados de acordo com o tipo de solo (A1: Neossolo e A2: Cambissolo), número do tratamento (T1 a T5) e repetição (R1, R2 e R3), colocados em mesas separadas (FIGURA 7).



FIGURA 7 – VISTA DO EXPERIMENTO APÓS INSTALAÇÃO

4.4 CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO

4.4.1 Coleta de dados dendrométricos

Em todas as plantas foi coletado o diâmetro à altura do colo e a altura total. As medições foram realizadas no início do experimento e aos 30, 58, 92, 121 dias e 147 dias após o início (FIGURA 8).

No caso da altura, o acompanhamento teve início após 30 dias do replantio das mudas, devido às acomodações naturais do solo nos vasos. A medição foi realizada com régua de madeira. O diâmetro à altura do colo foi mensurado desde o início do replantio das mudas, com uso de paquímetro eletrônico.



FIGURA 8 – COLETA DE DIÂMETRO DO COLO E ALTURA DAS MUDAS

4.4.2 Irrigações

Os vasos foram mantidos úmidos, com os solos sempre acima da capacidade de campo, com irrigação manual periódica, para facilitar a percolação do resíduo aplicado.

4.4.3 Duração

O ensaio na casa de vegetação (FIGURA 9), a partir do plantio das mudas de *Pinus taeda* L., foi realizado de 04/01 a 31/05/06, com duração de 147 dias.



SOLO NEOSSOLO



SOLO CAMBISSOLO

FIGURA 9 – FINAL DO EXPERIMENTO

4.4.4 Coleta da água de percolação e análise laboratorial

Foram coletadas amostras da água de percolação em todos os vasos, aos 140 dias do experimento, (FIGURA 10), com saída pelo dispositivo dosador. Na parte superior do tubo foi adicionado água, com coleta de 02 litros por amostra.

A água foi coletada em garrafas plásticas, devidamente higienizadas e identificadas conforme os tratamentos e repetições.

As amostras foram enviadas para os laboratórios do Centro de Tecnologia e Meio Ambiente (CETSAM) do SENAI, e ao Laboratório de Manejo de Bacias Hidrográficas e Qualidade de Água da Universidade Federal do Paraná (UFPR).

Foram realizadas as análises de Detergentes, Fenóis Totais, Alumínio, Bário, Chumbo, Cromo Total, Ferro, Manganês, Sódio, Nitrogênio Total, Nitrogênio Amoniacal, Nitrogênio orgânico, Nitrito, Nitrato e Ortofosfato.



FIGURA 10 – COLETA DA ÁGUA DE PERCOLAÇÃO

4.4.5 Coleta do solo no final do experimento

No final do experimento, aos 147 dias de duração, foi realizada a coleta dos solos dos vasos. Os plásticos dos tubos foram cortados, com a coleta de três camadas de solo: 0-10 cm; 10-20 cm e 20-30 cm (FIGURA 11).



FIGURA 11 – COLETA DO SOLO

Os solos foram colocadas em sacos plásticos, identificados e enviados ao Laboratório de Solos do EMBRAPA, para realização das análises de pH CaCl_2 ; potássio (K); cálcio (Ca); magnésio (Mg); cálcio + magnésio (Ca + Mg); alumínio (Al); acidez potencial (H + Al); carbono (C); fósforo (P); e saturação em bases (V%) e sódio (Na).

4.4.6 Coleta da parte aérea (caule e acículas) e raízes

Após a retirada das amostras de solo, as plantas foram colhidas e enviadas ao Laboratório da EMBRAPA. Foi realizada a separação do caule, acículas e raiz (FIGURA 12), de todas as plantas do experimento, para a determinação do peso de massa seca.

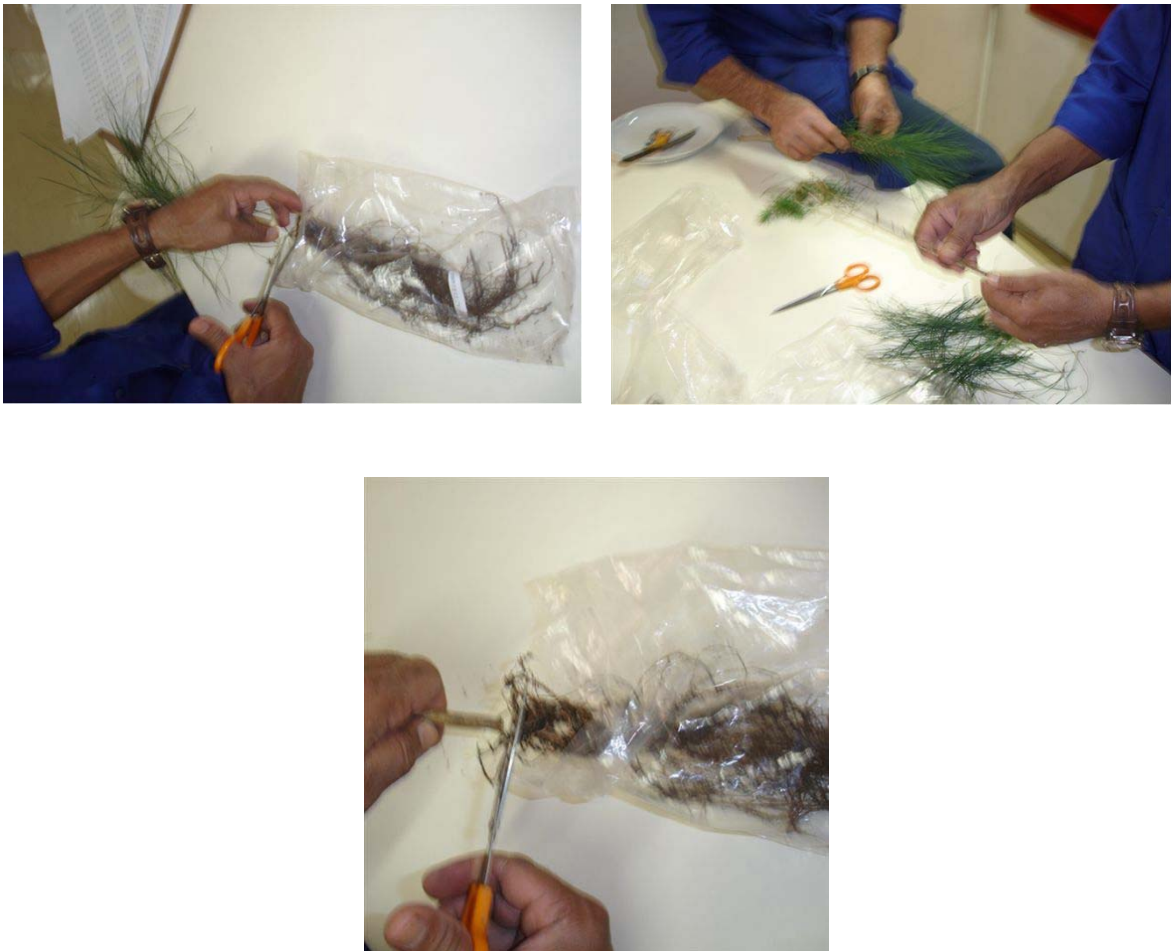


FIGURA 12 – COLETA DO CAULE, ACÍCULAS E RAIZ

4.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado, com 03 repetições, para os 02 tipos de solo, e 05 tratamentos com dosagens de resíduos, com análise estatística do diâmetro do colo e altura equivalente das mudas, produção de biomassa seca e elementos químicos na água de percolação.

Os tratamentos foram distribuídos em esquema fatorial 5 x 3; cinco doses de resíduos (0, 10, 20, 40, 80 t/ Ha) e 03 camadas (0-10 cm; 10-20 cm e 20-30 cm) de profundidade do solo.

Os efeitos principais e interações foram analisados pelo teste F (MONTGOMERY, 1991). As interações significativas foram decompostas ortogonalmente.

Os efeitos de doses de resíduos foram submetidos à análise de regressão polinomial até o 3º. grau. Os pontos de máximo e mínimo foram derivados dos modelos significativos de mais alto grau (DRAPER ;SMITH, 1998).

Os efeitos relativos às camadas do solo em profundidade foram submetidos a contrastes ortogonais do teste F. Os contrastes foram: camada 1 versus camada 2 e camada 3, e camada 2 versus camada 3 (STELL; TORRIE, 1981).

As análises estatísticas foram realizadas com a utilização do software SAS 9.1.3 for Windows.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 CARACTERIZAÇÃO E VALOR AGRONÔMICO DOS RESÍDUOS

5.1.1 Caracterização dos resíduos pela norma NBR 10004 (ABNT)

As normas da ABNT têm a finalidade de classificar os resíduos sólidos de acordo com sua periculosidade, fornecendo informações para seu correto gerenciamento, apontando os riscos potenciais do produto ao meio ambiente e à saúde. Não é uma legislação oficial, porém é aceita no Brasil como ferramenta para subsidiar a questão dos resíduos sólidos.

Os resíduos sólidos recebem a classificação de acordo com a Norma NBR 10004 (ABNT, 2004), após a realização de ensaios, realizados de acordo com as Normas NBR 1005 para lixiviação (ABNT, 2004b) NBR 10006- solubilização (ABNT, 2004c).

Na norma os métodos de ensaio empregados são baseados no método USEPA – SW 846 e outras metodologias recomendadas pela ABNT.

Na amostra bruta, que é uma porção representativa da composição e distribuição do lote total, o número de porções requeridas dependerá da homogeneidade do material a ser analisado.

Nos testes de lixiviação, descritos por Sisino (2003), o resíduo sofre um tratamento de modo a favorecer sua lixiviação dos compostos contaminantes. O resíduo é misturado à água deionizada, sofre correção de pH, e agitação por 24 horas. Posteriormente é filtrado em uma membrana de fibra de vidro.

Na solubilização, o resíduo sofre agitação num tempo curto e com baixa velocidade, deixado em repouso por uma semana e, depois de filtrado, origina o extrato solubilizado (SISINNO, 2003)

A análise química do resíduo da fábrica de papel originário da estação de tratamento de efluentes é mostrada na TABELA 6.

TABELA 6 - RESULTADOS DOS ENSAIOS FÍSICO-QUÍMICOS E LIMITES DA NBR 10004

Parâmetro	Concentração no resíduo	Unidade	Limites NBR 10.004/04	Excedeu Limites?
Caracterização na Amostra Bruta				
pH em Água	8,60	-	2,0 – 12,50	não
Caracterização no lixiviado				
Arsênio	<0,0025	mg/l	1,00	não
Bário	2,13	mg/l	70,00	não
Cádmio	< 0,10	mg/l	0,50	não
Chumbo	< 0,05	mg/l	1,00	não
Cromo Total	0,05	mg/l	5,00	não
Mercúrio	< 0,001	mg/l	0,10	não
Prata	< 0,05	mg/l	5,00	não
Selênio	< 0,005	mg/l	1,00	não
Caracterização no solubilizado				
Cloreto	123,76	mg/l	250,00	não
Fenóis Totais	0,11	mg/l	0,01	sim
Detergente	0,49	mg/l	10,00	não
Nitrato	1,50	mg/l	10,00	não
Sulfato	< 0,10	mg/l	10,00	não
Alumínio	7,74	mg/l	0,20	sim
Arsênio	< 0,0025	mg/l	0,01	não
Bário	0,89	mg/l	0,70	sim
Cádmio	< 0,0005	mg/l	0,01	não
Chumbo	< 0,005	mg/l	0,01	não
Cobre	< 0,10	mg/l	2,00	não
Cromo Total	< 0,05	mg/l	0,05	não
Ferro	12,93	mg/l	0,30	sim
Manganês	0,26	mg/l	0,10	sim
Mercúrio	< 0,001	mg/l	0,00	não
Prata	< 0,05	mg/l	0,05	não
Selênio	< 0,005	mg/l	0,01	não
Sódio	12,95	mg/l	200,00	não
Zinco	< 0,10	mg/l	5,00	não

NOTAS: * mg/l: miligramas presentes em um litro de solução, equivalente a ppm (parte por milhão)

** elementos em negrito excederam os limites da NBR 10.004/04

A classificação do resíduo, descrita também por Pereira (2002) e Nolasco (2000), é feita pelo estudo dos critérios que enquadram o produto como Classe I (perigoso); Classe II (Não inerte) ou Classe II B (inertes).

Pela composição básica do resíduo é possível identificar a presença de produtos que podem conferir periculosidade, conforme o Anexo F da norma NBR 10.004/04, pelo resultado dos ensaios de lixiviação.

No ensaio do lixiviado nenhum dos elementos ou parâmetros excedeu os limites estabelecidos pela NBR 10004 da ABNT (ABNT, 2004).

O ensaio de solubilização, constante do anexo F da norma, vai definir em que classe o resíduo se enquadra. Finalmente o Anexo G determinará a classificação final do resíduo.

Pelo ensaio do solubilizado, as concentrações de fenóis totais, alumínio, bário, ferro e manganês são superiores aos limites estabelecidos pelo anexo F, resultando na classificação do resíduo resultante do processo final de centrifugação da ETE como Classe II A – Não inerte.

Isto significa que o produto apresenta alguma propriedade que possa causar algum tipo de risco ambiental, relacionado à biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.

Pela citação da ABNT (2006), a norma não é definitiva sobre o uso ou não de determinado resíduo, dando indicações sobre seu gerenciamento.

Baseado nestes resultados, os elementos que excederam os limites da NBR 10.004/04, como os fenóis totais, alumínio, bário, ferro e manganês, conjuntamente com outros elementos selecionados como o chumbo, cromo, detergentes e sódio, foram alvo de investigação na água de percolação do ensaio com solo e resíduo.

5.1.2 Limites de metais pesados e agentes patogênicos

Recentemente, o CONAMA, através da resolução n.º 375 de 29/08/2006 estabeleceu critérios legais para o uso de lodos provenientes das estações de tratamento sanitário de efluentes e seus produtos derivados (BRASIL, 2006).

Pela hierarquia, a legislação federal deve prevalecer sobre as estaduais, na questão de limites de metais pesados. A resolução não versa diretamente sobre outros tipos de lodo, porém, deverá servir de subsídio aos órgãos ambientais, na permissão de uso de qualquer outro resíduo.

Diversos estados do país possuem legislação específica sobre o uso de Lodo de Estações de Tratamento de Efluentes, como o Paraná (IAP, 2003) e São Paulo (CETESB, 1999), estabelecendo limites de concentração de metais pesados nos lodos agrícolas.

Na TABELA 7, é realizada a comparação dos teores do resíduo estudado neste trabalho, com os limites permitidos de metais pesados, no Paraná e em São Paulo.

TABELA 7 – COMPARAÇÃO ENTRE LODO DE ETE DE FÁBRICA DE PAPEL RECICLADO E LIMITES DO IAP (PR) E CETESB (SP)

Metal	Resultados resíduo (mg / kg base seca)	Concentração permitida pelo IAP - PR (mg / kg base seca)	Concentração permitida pela CETESB -SP (mg / kg base seca)	Excedeu Limites?
Arsênio	< 33,31	-	75	não
Bário	94,76	-	-	-
Cádmio	< 9,99	20	85	não
Chumbo	10,99	750	840	não
Cobre	49,14	1000	4300	não
Cromo	7,09	1000	-	não
Mercúrio	0,18	16	57	não
Molibdênio	< 9,99	-	75	não
Níquel	< 9,99	300	420	não
Selênio	< 49,94	-	100	não
Zinco	265,22	2500	7500	não

FONTE: IAP (2003); CETESB (1999).

O resíduo da fábrica de papel reciclado ficou dentro dos limites estabelecidos pelo IAP e pela CETESB, para metais pesados.

Na TABELA 8 é feita a comparação entre os limites de metais pesados do resíduo estudado e a Resolução CONAMA n.º 375/2006.

TABELA 8 – COMPARAÇÃO ENTRE RESÍDUO DE ETE DE FÁBRICA DE PAPEL RECICLADO E LIMITES DA RESOLUÇÃO CONAMA n.º 375 / 2006

Metal	Resultados resíduo (mg / kg) base seca	Concentração Permitida na Resolução CONAMA n? 375 (mg / kg) base seca	Excedeu Limites?
Arsênio	< 33,31	41	não
Bário	94,76	1300	não
Cádmio	< 9,99	39	não
Chumbo	10,99	300	não
Cobre	49,14	1500	não
Cromo	7,09	1000	não
Mercúrio	0,18	17	não
Molibdênio	< 9,99	50	não
Níquel	< 9,99	420	não
Selênio	< 49,94	100	não
Zinco	265,22	2800	não

FONTE: BRASIL (2006)

Pelos resultados apresentados, o resíduo não excedeu as concentrações máximas (base seca) previstas na resolução CONAMA n.º 375.

Também a resolução CONAMA estabeleceu limites para concentração de agentes patogênicos nos lodos (TABELA 9).

TABELA 9 – CONCENTRAÇÃO DE COLIFORMES TERMOTOLERANTES PERMITIDOS NA RESOLUÇÃO CONAMA n.º 375 / 2006

Ensaio	Resultados resíduo ETE (NMP / g)	Concentração permitida CONAMA (NMP / g de sólidos totais)*	Excedeu Limites?
Coliformes termotolerantes	0,41	<10 ³ NMP / g de ST	não

NOTA: * NMP: Número Mais Provável de coliformes em grama de ST: Sólidos Totais

Quanto aos Coliformes termotolerantes, o valor está dentro dos padrões legais, podendo o produto ser manuseado sem riscos de toxicidade ou patogenicidade.

Sobre isto, Rezende, Matos e Silva (2000) afirmam que os efluentes do processo industrial das fábricas de papel e celulose normalmente são isentos de coliformes fecais, entretanto, se forem misturados aos esgotos sanitários da fábrica, organismos patogênicos poderão estar presentes.

Neste trabalho não foram realizadas as análises da concentração para *Salmonella* e vírus. Assim, não classificamos o resíduo produzido por tipo de lodo (A ou B), conforme classificação da Resolução CONAMA n.º 375/2006.

5. 1.3 Caracterização do valor agrônômico dos resíduos

O resíduo do lodo da ETE de fábrica de papel reciclado é alcalino, pobre em nutrientes, com baixos teores de macronutrientes principais, como fósforo e potássio, conforme TABELA 10.

O pH é alcalino como a maioria dos resíduos de fábrica de papel (RODRIGUES, 2004; ANDRADE et al., 2003; NOLASCO; GUERRINI; BENEDETTI, 2005; KINJO *et al.*, 1992).

Possui baixos teores de fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre e de micronutrientes em geral.

Em comparação com outros tipos de lodos e adubos orgânicos, o resíduo de fábrica de papel reciclado pode ser considerado de baixa qualidade em nutrientes.

TABELA 10 – ANÁLISE QUÍMICA E NUTRIENTES PRESENTES NO RESÍDUO DA ETE DE FÁBRICA DE PAPEL RECICLADO

Ensaio	Resultados	Unidade
Cinzas	55,54	%
pH em Água	8,60	-
Carbono Total	23,84	%
Alumínio	13,30	g/kg
Matéria Orgânica	42,92	%
Nitrogênio Total	0,03	%
Fósforo	0,23	% P ₂ O ₅
Potássio	136,79	mg/kg
Cálcio	150,04	g/kg
Magnésio	1,76	g/kg
Enxofre	0,04	%
Ferro	2,48	g/kg
Manganês	44,35	mg/kg
Boro	< 499,45	mg/kg
Zinco	265,22	mg/kg
Molibdênio	< 9,99	mg/kg

Porém, mesmo com concentrações baixas de nutrientes em geral, as quantidades que são aplicadas por hectare são elevadas (20, 40, 80 t/ha⁻¹), correspondendo também a elevadas quantidades destes nutrientes.

A relação C/N, considerando o Carbono total e nitrogênio total, é alta, observando-se que o material não sofreu qualquer tipo de compostagem, sendo referente ao material coletado na saída da centrifugação da ETE.

Durante o experimento não se observou nas plantas de *Pinus*, nenhum dano ou sintoma que pudesse relacionar-se com a decomposição da matéria orgânica, descrito por Kiehl (1979), com influência dos teores de carbono e nitrogênio presentes no material.

Bellote *et al.* (1998) cita a alta relação C / N nos resíduos celulósicos, necessitando de decomposição prévia. Rodrigues (2004) também relata alta relação C/N (150/1) de resíduo celulósico, antes da compostagem.

O teor de matéria orgânica (cerca de 43%) pode ser considerado médio, comparando-se com outros resíduos, como o resíduo de celulose após compostagem (com 88%), conforme descrição de Rodrigues (2004).

5.2 EFEITOS DA APLICAÇÃO DE RESÍDUO NA ÁGUA DE PERCOLAÇÃO

A Resolução n.º 357 de 17 de Março de 2005 do CONAMA, é a legislação que estabelece condições para lançamento de efluentes, de forma direta ou indireta, sem causar poluição ou causar contaminação (GUERRA, 2005).

Em seu artigo 14 (BRASIL, 2005), estabelece valores máximos permitidos nas águas doces de Classe I, destinadas ao consumo humano, para metais e outras substâncias (QUADRO 4).

QUADRO 4 – PARÂMETROS PARA ALGUMAS SUBSTÂNCIAS INORGÂNICAS E ORGÂNICAS DA RESOLUÇÃO CONAMA n.º 357

TABELA 1 – CLASSE 1 – ÁGUAS DOÇES	
Parâmetros	Valor Máximo
Alumínio Dissolvido	0,1 mg/ L Al
Bário Total	0,7 mg/L Ba
Boro Total	0,5 mg/L B
Cádmio Total	0,001 mg/L Cd
Chumbo Total	0,01mg/L Pb
Cloreto total	250 mg/L Cl
Cobre Dissolvido	0,009 mg/L Cu
Cromo Total	0,05 mg/L Cr
Fenóis Totais	0,003 mg/L C6H5OH
Ferro Dissolvido	0,3 mg/L Fe
Fluoreto Total	1,4 mg/L F
Fósforo Total (ambiente intermediário, com tempo de residência entre 2 e 40 dias, e tributários diretos de fósforo lântico)	0,025 mg/L P
Fósforo Total (ambiente lântico)	0,020 mg/L P
Fósforo total (ambiente lótico e tributários)	0,1 mg/L P
Manganês total	0,1 mg/L Mn
Mercúrio Total	0,0002 mg/L Hg
Níquel Total	0,025 mg/L Ni
Nitrogênio Amoniacal Total	3,7mg/L N, para pH ? 7,5
	2,0 mg/L N, para 7,5 < pH ? 8,0
Nitrato	10,0 mg/L N
Nitrito	1,0 mg/L N
Sulfato Total	250 mg/L SO4
Zinco total	0,18 mg/L Zn

FONTE: BRASIL (2005)

Os valores máximos permissíveis, foram comparados com os resultados da águas de percolação, para avaliação do potencial poluidor. Para elementos que não constam da listagem do CONAMA, foram adotados outros parâmetros.

5.2.1 Presença de metais e outros parâmetros inorgânicos

5.2.1.1 Bário, chumbo e cromo

Os resultados da água de percolação do resíduo da fábrica de papel reciclado, para os metais bário, chumbo e cromo, são apresentados na TABELA 11.

TABELA 11 – CONCENTRAÇÃO (mg/l) DE BÁRIO, CHUMBO E CROMO NA ÁGUA DE PERCOLAÇÃO EM DOIS TIPOS DE SOLO E APLICAÇÃO DE DIFERENTES QUANTIDADES DE RESÍDUOS

Tratamento t/ha	Tipo de Solo	Parâmetros Químicos		
		Bário (mg / L)	Chumbo (mg / L)	Cromo (mg / L)
0	Neossolo	0,50	0,005	0,005
10		0,50	0,005	0,0067
20		0,50	0,005	0,005
40		0,50	0,005	0,005
80		0,50	0,005	0,005
0	Cambissolo	0,50	0,0067	0,005
10		0,50	0,005	0,005
20		0,50	0,005	0,005
40		0,50	0,005	0,005
80		0,50	0,005	0,005
Valores de Referência *		0,70	0,001	0,005
Efeitos e Interações		Valor de p		
Solos (S)		-	<0,0001	0,3293
Dose (D)		-	<0,0001	0,4307
Interação (SxD)		-	<0,0001	0,4307
Efeito da Regressão para Dose				
Regressão Linear		-	0,5405	0,2968
Regressão Quadrática		-	0,0107	0,2792
Regressão Cúbica		-	<0,0001	0,3036
Ponto para Doses - t/ha				
Ponto de Máximo		56,75	56,75	-
Ponto de Mínimo		-	8,45	-

NOTAS: * limites da Resolução CONAMA n.º 357/2005

Observações : Se valor p < 0,01 = significativo a 1% de probabilidade pelo teste F

Se valor p < 0,05 = significativo a 5% de probabilidade pelo teste F

No teste de solubilização da Norma 10.004/04 da ABNT, o bário excedeu os limites, indicando possíveis problemas na água de percolação, fato que não se concretizou.

A concentração de bário, nos dois tipos de solo, em todos os tratamentos, não excedeu os limites legais permitidos pela Resolução CONAMA n.º 357/2005.

No atual trabalho, a análise química em base seca do resíduo já indicava concentração baixa para chumbo, também comprovada pela análise da água de percolação, que indicou concentração de chumbo dentro dos limites da permitidos pela Resolução CONAMA n.º 357/2005.

Para o chumbo, a análise estatística mostrou significância (valor $p= 0,0001$) nos dois tipos de solos com as doses crescentes de resíduos. A interação mostrou efeito significativo para o efeito de solo e de doses de resíduos. A análise de regressão para as doses de resíduos indicou 8,45 t / ha como ponto mínimo e 56,75 t /ha como ponto máximo para o chumbo.

Na água de percolação, a concentração de cromo nos dois tipos de solo, em todos os tratamentos, não excedeu os limites da Resolução CONAMA n.º 357/2005.

Não houve aumento da concentração de cromo na água de percolação pelo uso dos resíduos de fábrica de papel. O elemento tem baixa mobilidade no solo, dificilmente é lixiviado (SILVA; PEDROSO, 2001). A análise estatística mostrou que não houve significância estatística para o contraste do efeito dos dois tipos de solos, para o efeito de doses e para a interação nos dois tipos de solos.

5.3.1.2 Nitrogênio amoniacal, nitratos, nitritos e ortofosfatos

Os resultados da água de percolação do resíduo de lodo da ETE de fábrica de papel reciclado, em dois tipos de solo, para nitrogênio amoniacal, nitratos, nitritos e ortofosfatos, constam da TABELA 12.

Os teores de nitrogênio total presente no resíduos são baixos. A água de percolação não apresentou concentrações elevadas de nitrogênio amoniacal. Os teores encontrados nos dois solos, foram superiores à testemunha.

Em ambos os solos, houve aumento dos teores de acordo com o incremento nas doses. Os resultados foram significativos (valor $p < 0,01$) para solos, doses e para a interação dos solos com doses (valor $p < 0,01$).

A análise de regressão para as doses de resíduos, indicou para ambos os solos, ponto de mínimo em 4,37 t/ha e ponto de máximo para 56,75 t / ha.

Nenhum dos teores de nitrogênio amoniacal, em ambos os solos, excederam o valor máximo da Resolução CONAMA n.º 357/2005 (3,70 mg/l), conforme GRÁFICO 1.

TABELA 12 - CONCENTRAÇÃO (mg/l) DE NITROGÊNIO AMONIACAL, NITRATOS, NITRITOS E ORTOFOSFATOS, NA ÁGUA DE PERCOLAÇÃO EM DOIS TIPOS DE SOLO E APLICAÇÃO DE DIFERENTES QUANTIDADES DE RESÍDUOS

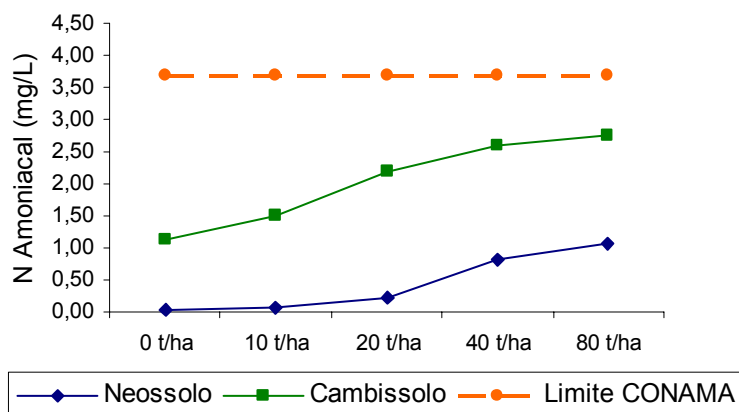
Tratamento t/ha	Tipo de Solo	Parâmetros Químicos			
		N Amoniacal (mg / L)	Nitratos (mg / L)	Nitritos (mg / L)	Ortofosfatos (mg / L)
0	Neossolo	0,037	1,152	0,436	0,0647
10		0,075	0,992	0,688	0,0661
20		0,206	0,972	0,665	0,0682
40		0,802	1,013	0,744	0,0756
80		1,053	1,511	0,793	0,0953
0	Cambissolo	1,132	1,137	0,827	0,2272
10		1,516	0,982	0,814	0,0932
20		2,184	0,986	0,723	0,1010
40		2,592	1,403	0,743	0,0968
80		2,739	1,460	0,706	0,0740
Valores de Referência *		3,70	10,00	1,00	0,10
Efeitos e Interações		Valor de p			
Solos (S)		<0,0001	0,3900	0,0268	0,0859
Dose (D)		<0,0001	0,0022	0,3083	0,4608
Interação (SxD)		<0,0001	0,3447	0,0154	0,2242
Efeito da Regressão para Dose					
			Neossolo	Cambissolo	
Regressão Linear	<0,0001	0,0004	0,0361	0,0017	0,372
Regressão Quadrática	<0,0001	0,0006	0,0497	0,0016	0,394
Regressão Cúbica	<0,0001	0,0005	0,0833	0,0032	0,3971
Ponto para Doses - t/ha					
Ponto de Máximo	65,89	70,30	-	-	63,02
Ponto de Mínimo	4,37	15,86	-	-	23,53

NOTAS: * limites da Resolução CONAMA n.º 357/2005

Observações : Se valor p < 0,01 = significativo a 1% de probabilidade pelo teste F

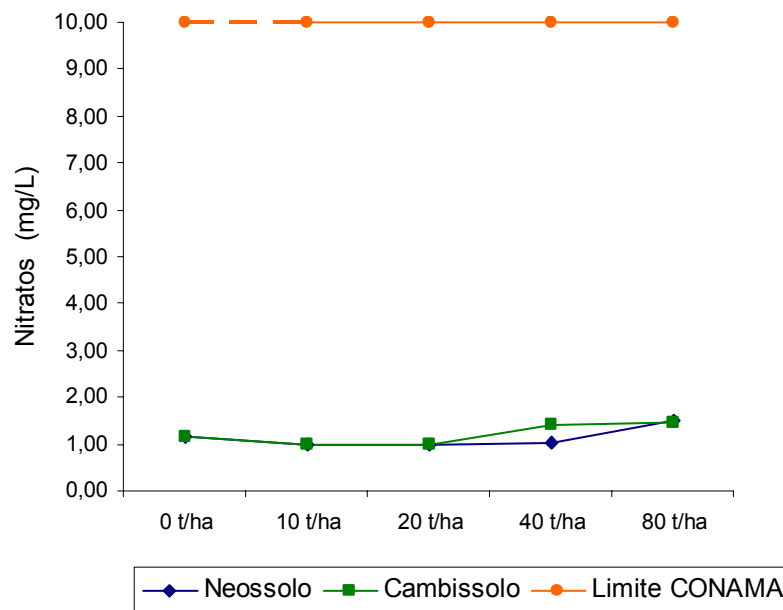
Se valor p < 0,05 = significativo a 5% de probabilidade pelo teste F

GRÁFICO 1 - TEORES DE NITROGÊNIO AMONIACAL NA ÁGUA DE PERCOLAÇÃO E LIMITES LEGAIS, EM DOIS TIPOS DE SOLOS, COM APLICAÇÃO DE DIFERENTES DOSES DE RESÍDUOS



Para os nitratos, os teores encontrados na água de percolação foram muito próximos em todas as dosagens, em ambos os solos, com incrementos nas doses maiores de 40 e 80 t/ha (GRÁFICO 2).

GRÁFICO 2 - TEORES DE NITRATOS NA ÁGUA DE PERCOLAÇÃO E LIMITES LEGAIS, EM DOIS TIPOS DE SOLOS, COM APLICAÇÃO DE DIFERENTES DOSES DE RESÍDUOS



Por esta razão, no efeito de solos, doses e para a interação de solos e doses, encontrou-se resultados significativos (valor $p < 0,01$).

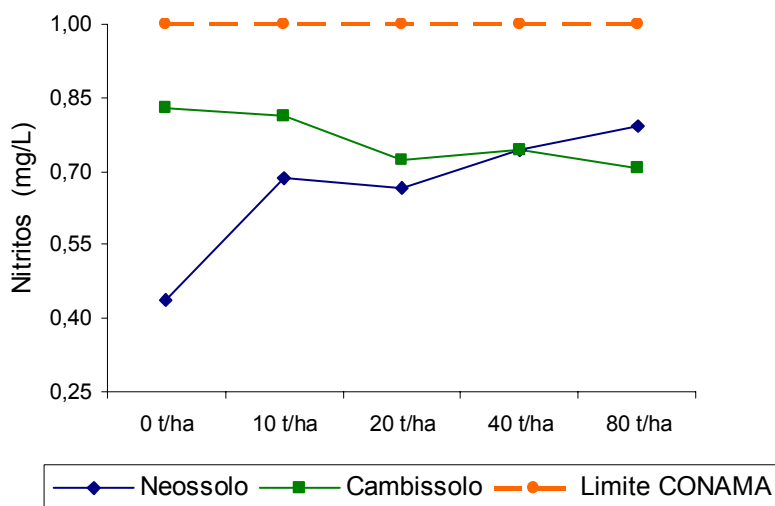
A análise de regressão para as doses de resíduos, indicou para ambos os solos, ponto de mínimo em 8,45 t/ha e ponto de máximo para 56,75 t / ha.

Nenhuma das concentrações de nitratos excedeu o valor limite da Resolução CONAMA n.º 357/2005 (10 mg/l).

Os resultados ficam em concordância com o teste de solubilização da ABNT para nitrato, também com resultados dentro dos limites permitidos.

Mesmo resultado tiveram as concentrações de nitrito (GRÁFICO 3), que também não atingiram o valor máximo permitido (1,0 mg/l) pela legislação do CONAMA.

GRÁFICO 3 - TEORES DE NITRITOS NA ÁGUA DE PERCOLAÇÃO E LIMITES LEGAIS, EM DOIS TIPOS DE SOLOS, COM APLICAÇÃO DE DIFERENTES DOSES DE RESÍDUOS



No Cambissolo, os teores de nitrito da testemunha foram superiores a todos os tratamentos, com as concentrações decrescendo, à medida que as doses de resíduos foram adicionadas ao solo. No Neossolo, ocorreu efeito contrário, com todas as dosagens superiores à testemunha e crescendo com o aumento das doses.

Devido a estes efeitos diferentes em relação às dosagens, a análise estatística foi significativa apenas para o efeito de solos e para a interação solos com doses (valor $p < 0,05$).

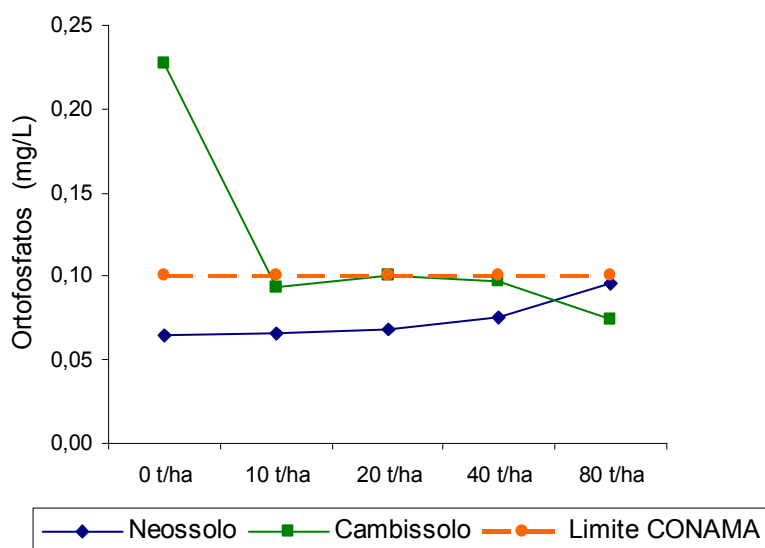
O aumento da concentração de nitrogênio, pode causar lixiviação (principalmente na forma de nitrato), e contaminação do lençol freático (TSUTIYA, 2002; HARRISON *et al.*, 2003), fato não ocorrido neste experimento, com as concentrações de nitrogênio amoniacal, nitrato e nitrito, com concentrações dentro dos limites permitidos pela legislação.

A análise da água de percolação teve resultados distintos nos solos, para o caso dos ortofosfatos (GRÁFICO 4).

No Neossolo, as doses de resíduos tiveram somente aumento mais significativo, a partir de 40 t/ha nos teores, chegando à dose de 80 t/ha, com resultado 47% superior à testemunha.

No Cambissolo, a testemunha apresentou naturalmente teores elevados. A aplicação das crescentes doses de resíduos proporcionaram queda nos teores, com menor valor na dose máxima de 80 t/ha.

GRÁFICO 4 – TEORES DE ORTOFOSFATOS NA ÁGUA DE PERCOLAÇÃO E LIMITES LEGAIS, EM DOIS TIPOS DE SOLOS, COM APLICAÇÃO DE DIFERENTES DOSES DE RESÍDUOS



Com isto, a análise estatística para os ortofosfatos não apresentou diferença estatística para o efeito de solos e para as doses crescentes de resíduos, bem como para interação dos solos com as dosagens.

As concentrações de ortofosfatos nos dois tipos de solo, com exceção da testemunha do Cambissolo, não excederam o valor máximo da Resolução CONAMA n.º 357/2005 (0,10 mg/L).

5.3.1.3 Alumínio, ferro e manganês

Os resultados da água de percolação para alumínio, ferro e manganês, são apresentados na TABELA 13.

No caso do alumínio (GRÁFICO 5), em todos os tratamentos com resíduo e na testemunha, foram encontrados teores relativamente altos deste elemento nos dois tipos de solo, caracterizando a presença natural do alumínio nestes solos.

TABELA 13 - CONCENTRAÇÃO (mg/l) DE ALUMÍNIO, FERRO E MANGANÊS, NA ÁGUA DE PERCOLAÇÃO, EM DOIS TIPOS DE SOLO E APLICAÇÃO DE DIFERENTES QUANTIDADES DE RESÍDUOS

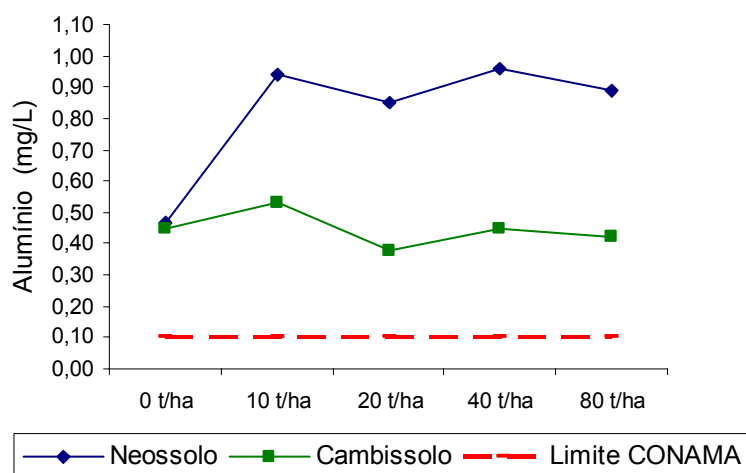
Tratamento t/ha	Tipo de Solo	Parâmetros Químicos		
		Alumínio (mg / L)	Ferro (mg / L)	Manganês (mg / L)
0	Neossolo	0,47	0,22	0,10
10		0,94	0,24	0,27
20		0,85	0,19	0,27
40		0,96	0,26	0,54
80		0,89	0,36	0,14
0	Cambissolo	0,45	0,20	0,10
10		0,53	**	0,10
20		0,38	0,31	0,10
40		0,45	**	0,10
80		0,42	**	0,25
Valores de Referência *		0,10	0,30	0,10
Efeitos e Interações		Valor de p		
Solos (S)		0,0035	-	0,0045
Dose (D)		0,5874	-	0,0535
Interação (SxD)		0,6375	-	0,0070
Efeito da Regressão para Dose				
			Neossolo	Cambissolo
Regressão Linear		0,5839	-	0,8455
Regressão Quadrática		0,5996	-	0,0105
Regressão Cúbica		0,7332	-	0,0211
Ponto para Doses - t/ha				
Ponto de Máximo		-	-	0,00
Ponto de Mínimo		-	-	51,80

NOTAS: * limites da Resolução CONAMA n.º 357/2005

** não analisado

Observações: Se valor $p < 0,01$ = significativo a 1% de probabilidade pelo teste F
Se valor $p < 0,05$ = significativo a 5% de probabilidade pelo teste F

GRÁFICO 5 - TEORES DE ALUMÍNIO NA ÁGUA DE PERCOLAÇÃO E LIMITES LEGAIS, EM DOIS TIPOS DE SOLOS, COM APLICAÇÃO DE DIFERENTES DOSES DE RESÍDUOS



Na água de percolação, o alumínio teve comportamento distinto nos dois solos.

No Neossolo, as variações foram maiores em relação à testemunha, mantendo-se com pequena oscilação entre os tratamentos que receberam resíduos, todos superiores à testemunha. No Cambissolo, os teores, tiveram oscilação em relação às dosagens, com a testemunha e os tratamentos com 10 e 40 t/ha, com teores superiores ao tratamento com maior dose (80 t/ha).

Em todos os tratamentos, incluindo a testemunha, sem adição de resíduos, apresentaram concentrações superiores aos limites permitidos pela Resolução CONAMA n.º 357/2005, que é de 0,10 mg/L. O teste de solubilização da ABNT, já indicava a presença do alumínio em concentrações superiores ao tolerado.

Diversos autores citam a necessidade de adequação as nossas condições ambientais, na questão de limites de metais, já que não temos resultados de pesquisas de longa duração sobre seus efeitos.

Podemos citar o caso da presença natural do alumínio, indicado pelas testemunhas em ambos os solos, que são naturalmente ácidos (pH ao redor de 4,0), em teores superiores ao permitido pela legislação, leva-nos à reflexão da necessidade de discussão destes limites legais.

Também uma das razões para a ocorrência de alta concentração de alumínio na água de percolação dos dois tipos de solo, foi a forma de condução do experimento, em que não houve déficit de água para as plantas. Isto combinado com concentração natural de alumínio nos dois tipos de solo, facilitou sua percolação. Em condições naturais, normalmente o aumento da concentração de alumínio está associado à ocorrência de chuvas (CETESB, 1999).

Deve-se citar o uso de compostos com sulfato de alumínio na ETE para diminuição do pH, nos processos de coagulação e floculação, que contribuiu para elevar a concentração do mesmo no efluente final.

Também citado por Crespilho, Santana e Rezende (2004), como causador de impactos na qualidade da água no efluente final. Atualmente buscam-se alternativas para a substituição destes produtos.

A análise estatística para o alumínio, mostrou que houve significância (valor $p=0,0035$) somente para o efeito de solos.

As concentrações de ferro na água de percolação do resíduo de fábrica de papel reciclado, nos dois tipos de solo, mostram que na dose com 20 t/ha do

Neossolo (0,36 mg/l) e na dosagem com de 40 t/ha (0,31 mg/l) do Cambissolo, foram superiores ao valor máximo permitido (0,30 mg/l) da Resolução CONAMA n.º 357/2005.

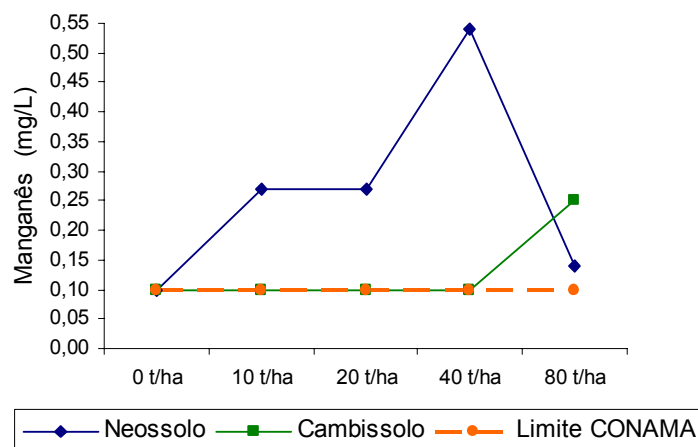
Nos tratamentos T4 e T5, houve discrepância nos resultados laboratoriais, sem possibilidade de repetição nas análises. Assim, ficou prejudicada a análise estatística e a maior discussão sobre este elemento, que não causa toxidez ao ser humano, apenas alterações de cor e paladar na água .

Como no caso já citado do alumínio, o uso de produtos à base de cloretos, sulfatos de alumínio e ferro, produtos de uso comum na estação de tratamento de efluentes, podem influenciar o aumento da concentração de ferro nos resíduos (SISINNO, 2003).

Considerando a Tabela III – Classe 3 para águas doces (BRASIL, 2005), da Resolução CONAMA n.º 357/2005 (5,0 mg/l), os teores de ferro encontrados na água de percolação, ficam dentro de limites aceitáveis. Nestas condições, as águas podem ser destinadas ao consumo humano, após tratamento convencional ou avançado.

Para o manganês (Gráfico 6), a água de percolação nos dois solos, apresentou iguais ou superiores ao tratamento testemunha, em todas as doses testadas.

GRÁFICO 6 - TEORES DE MANGANÊS NA ÁGUA DE PERCOLAÇÃO E LIMITES LEGAIS, EM DOIS TIPOS DE SOLOS, COM APLICAÇÃO DE DIFERENTES DOSES DE RESÍDUOS



No Cambissolo, os teores foram idênticos nas doses de 0, 10, 20 e 40 t/ha (10 mg/l). A partir daí, houve uma mudança brusca na dose de 80 t/ha, com diferença de 150% nos teores (0,25 mg/l).

No Neossolo houve mudanças nos teores a partir da dose de 10 t/ha, chegando ao ápice dos teores em 40 t/ha, seguido de queda acentuada na dose máxima de 80 t/ha. Com estas diferenças de comportamento não houve diferença estatística para as dosagens. Para efeito de solos e interação de solos com doses, os resultados estatísticos revelaram significância (valor $p < 0,01$)

Em ambos os solos, a testemunha sem resíduos, ficou no limite (0,10 mg/l) da Resolução CONAMA, sugerindo a presença natural do elemento no solo. No Neossolo, todos os outros tratamentos com resíduos superaram estes limites. Já no Cambissolo, somente o tratamento com a dosagem máxima (80 t/ha), superou este limite.

A análise de regressão para as doses de resíduos, indicou para o Neossolo ponto de mínimo em 0 t/ha e ponto de máximo em 51,80 t/ha. Para o Cambissolo, o ponto de mínimo foi em 30 t/ha e ponto de máximo de 80 t/ha.

A resolução CONAMA n.º 357/2005 estabeleceu para o manganês, concentração permissível para água doce Classe I de 0,10 mg/l. Na águas doces de Classe III, o valor máximo é de 0,50 mg/l.

Tivemos concentrações, acima dos limites para a Classe II de águas doces, para o Neossolo nos tratamentos com 10 t/ha; 20 t/ha; 40 t/ha e 80 t/ha. Para o Cambissolo, os limites foram superados no tratamento com 80 t/ha. Se considerarmos a Classe III para águas doces, somente o tratamento com 40 t/ha, do Neossolo, supera o limite permissível.

O manganês tem comportamento muito semelhante ao ferro, estando associados a este, causando também alterações no sabor e coloração da água (MACÊDO, 2004). Sua ocorrência em águas naturais é mais rara (CETESB, 2006), muitas vezes proveniente das rochas e do solo (MARTINS; LIMA, 2001).

Os resultados da água de percolação para os três elementos, alumínio, ferro e manganês, tiveram resultados coerentes com os resultados de solubilização da Norma NBR 10004 da ABNT, onde todos excederam os limites. Na água de percolação, estes metais também apresentaram concentrações acima do permitido pela legislação.

No caso do ferro e do manganês, as restrições são mais de caráter estético (cor escura) e de sabor ruim que confere à água, não apresentando problemas maiores de toxidez humana. Já para o alumínio, há evidências de causar danos nervosos ao ser humano (CETESB, 2006).

A ocorrência de altas concentrações de alumínio, ferro e manganês pode ser explicada por vários motivos, incluindo a origem natural. Deve-se citar também o uso de coagulantes metálicos na estação de tratamentos de efluentes, que podem contribuir para este resultado. No entanto, não se pode descartar a poluição antropogênica dos resíduos.

5.3.1.4 Fenóis, sódio e surfactantes

Os resultados da água de percolação do resíduo de fábrica de papel reciclado, para fenóis, sódio e surfactantes são mostrados na TABELA 14.

TABELA 14 - CONCENTRAÇÃO (mg/l) DE FENÓIS, SÓDIO E SURFACTANTES, NA ÁGUA DE PERCOLAÇÃO EM DOIS TIPOS DE SOLO E APLICAÇÃO DE DIFERENTES QUANTIDADES DE RESÍDUOS

Tratamento t/ha	Tipo de Solo	Parâmetros Químicos		
		Fenóis (mg / L)	Sódio (mg / L)	Surfactantes (mg / L)
0	Neossolo	0,010	8,443	0,216
10		0,010	10,410	0,010
20		0,010	16,343	0,040
40		0,010	9,813	0,146
80		0,010	7,796	0,010
0	Cambissolo	0,010	8,463	0,020
10		0,023	7,966	0,066
20		0,010	7,856	0,046
40		0,010	8,143	0,050
80		0,020	8,306	0,046
Valores de Referência *		0,003	200,00	0,50
Efeitos e Interações		Valor de p		
Solos (S)		0,0386	0,0810	0,5527
Dose (D)		0,1499	0,3391	0,5105
Interação (SxD)		0,1499	0,2106	0,1595
Efeito da Regressão para Dose				
Regressão Linear		0,5153	0,4876	0,3857
Regressão Quadrática		0,5910	0,4732	0,4314
Regressão Cúbica		0,4856	0,4352	0,5259
Ponto para Doses - t/ha				
Ponto de Máximo		-	-	-
Ponto de Mínimo		-	-	-

NOTAS: * limites da Resolução CONAMA n.º 357/2005

** limite da Norma 10004 da ABNT

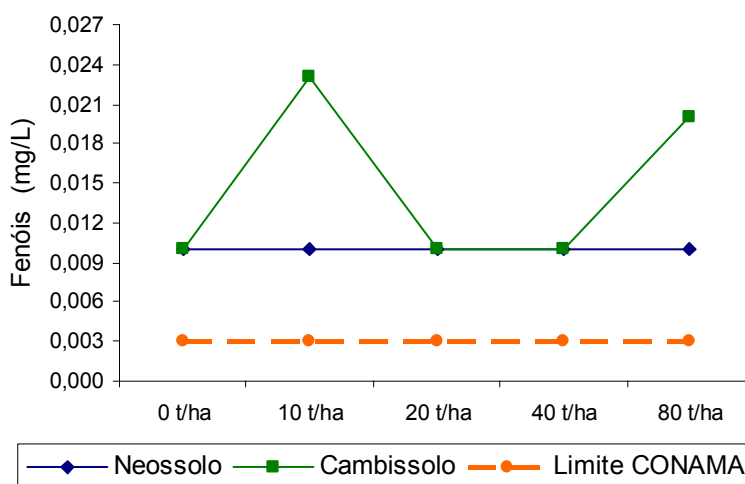
Observações : Se valor $p < 0,01$ = significativo a 1% de probabilidade pelo teste F
Se valor $p < 0,05$ = significativo a 5% de probabilidade pelo teste F

Os fenóis são tóxicos ao ser humano e organismos aquáticos, com limites bastante restritivos para sua concentração nas águas, como é o estabelecido pela Resolução CONAMA n.º 357 (0,003 mg/L).

No teste de solubilização da ABNT para a caracterização do resíduo, os fenóis ficaram com concentração acima dos limites estabelecidos.

Na água de percolação, as concentrações em todos os tratamentos, inclusive o tratamento testemunha, excederam os limites da legislação da Resolução CONAMA (GRÁFICO 7).

GRÁFICO 7 – TEORES DE FENÓIS NA ÁGUA DE PERCOLAÇÃO, EM DOIS TIPOS DE SOLOS, COM APLICAÇÃO DE DIFERENTES DOSES DE RESÍDUOS



Para os compostos fenólicos, os resultados na água de percolação dos solos mostraram teores coincidentes na maioria dos tratamentos (0,10 mg/l), para ambos os solos, apenas com diferença em apenas dois tratamentos do Cambissolo (0,020 mg/l com 10 e 80 t/ha). Isto repercutiu no resultado significativo apenas para efeito de solos (valor $p < 0,05$).

No caso do Neossolo, todos os tratamentos, inclusive a testemunha, apresentaram teores semelhantes (0,010 mg/l) e superiores aos limites para compostos fenólicos da Resolução do CONAMA n.º 357 (0,003 mg/l).

Mesma situação é encontrada no Cambissolo, onde também todos os tratamentos, inclusive a testemunha, apresentaram teores superiores ao limite da Resolução, mais elevados nos tratamentos com 10 e 80 t/ha (0,02 mg/l).

Houve diferença significativa apenas entre os dois tipos de solos ($p < 0,01$), não sendo comprovada diferença estatística para as doses crescentes e a interação das doses com os tipos de solos.

Portanto, não ficou comprovada a influência dos resíduos sobre as concentrações de fenóis. A possível origem é natural, devido aos processos de degradação da matéria orgânica no solo (KIEHL, 1985; YABE *et al.*, 2000).

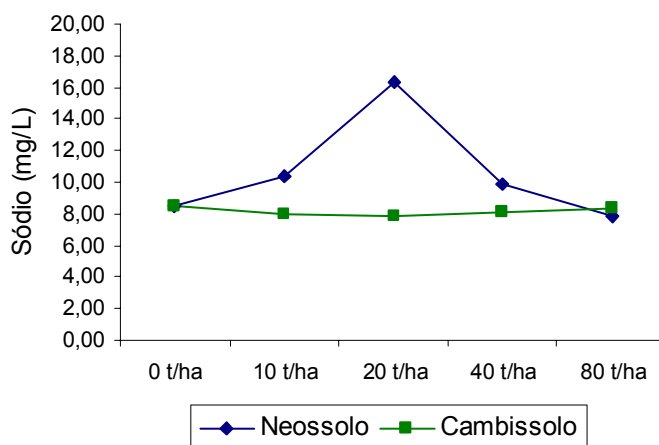
Também neste caso, temos a comentar os limites bastante restritivos da Resolução CONAMA n.º 357 (0,003 mg/L) para compostos fenólicos, podendo até inviabilizar o uso de resíduos. No nosso caso, as concentrações nas testemunhas superam mais de 3 vezes os limites legais.

O sódio em excesso, causa perda de permeabilidade no solo, pelo bloqueio dos poros. Não consta da listagem das substâncias com limites na Resolução CONAMA n.º 357/2005.

Assim, utilizamos para comparação, a norma n.º 10004 da ABNT, para teste de solubilização (ABNT, 2004), estabelecendo limite máximo de 200 mg/l.

Em ambos os solos (GRÁFICO 8), os teores encontrados são bastante inferiores aos limites de comparação.

GRÁFICO 8 - TEORES DE SÓDIO NA ÁGUA DE PERCOLAÇÃO EM DOIS TIPOS DE SOLOS, COM APLICAÇÃO DE DIFERENTES DOSES DE RESÍDUOS



No Cambissolo, os teores variaram pouco, com todas as dosagens inferiores à testemunha (8,74 mg/l). No Neossolo, houve maior variação, com resultados superiores à testemunha em 10, 20 e 40 t/ha. O teor máximo foi atingido em 20 t/ha (16,34 mg/L), caindo abruptamente na dose de 80 t/ha (7,66 mg/L).

Com esta disparidade, os resultados estatísticos não mostraram significância para nenhum dos efeitos estudados: solos, doses e sua interação.

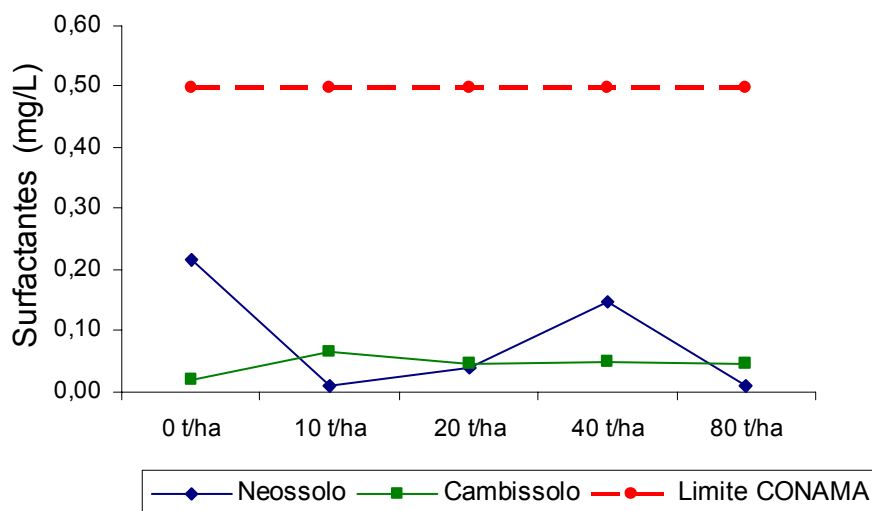
Os surfactantes ou detergentes podem aparecer em concentrações mais elevadas, pelo uso de produtos de limpeza na indústria (SISINNO, 2003), fato que não ocorreu na água de percolação do experimento.

O limite da Resolução n.º 357/2005 para estas substâncias não foi atingido.

Nos dois tipos de solos (GRÁFICO 9), os resultados na água de percolação mostraram resultados diferenciados para cada tipo de solo.

No Neossolo, os teores dos tratamentos foram menores em relação à testemunha. Efeito contrário no Cambissolo, onde todos os tratamentos foram superiores a testemunha.

GRÁFICO 9 – TEORES DE SURFACTANTES NA ÁGUA DE PERCOLAÇÃO E LIMITES LEGAIS, EM DOIS TIPOS DE SOLOS, COM APLICAÇÃO DE DIFERENTES DOSES DE RESÍDUOS



Para os surfactantes, a análise estatística não revelou diferenças significativas para o efeito de solos, para as doses de resíduos e para a interação dos solos com as doses.

As concentrações em todos os tratamentos, não excederam o valor máximo da Resolução CONAMA n.º 357/2005 (0,50 mg/ L).

5.4 EFEITOS DA APLICAÇÃO DE RESÍDUOS NAS PLANTAS DE *Pinus taeda* L.

Este trabalho não foi conduzido especificamente para avaliações dendrométricas e de biomassa das mudas. A irrigação freqüente para facilitar a percolação dos resíduos nos vasos, influenciou o desenvolvimento normal das mudas.

Mesmo com esta ressalva, foram avaliados os efeitos sobre a altura, diâmetro do colo das mudas e da biomassa seca das plantas de *Pinus taeda* L., cultivadas sob as mesmas condições, diferindo apenas nos tratamentos referentes às diferentes doses de resíduos.

5.4.1 Efeitos dos resíduos sobre o incremento em altura, diâmetro do colo e biomassa seca de *Pinus taeda* L

Considera-se para análise dos dados, o incremento periódico da altura e do diâmetro do colo das mudas, ocorrido nos 147 dias do experimento. Para a biomassa, foi considerado o peso seco, no final do experimento.

Os dados obtidos da mensuração do incremento periódico da altura e do diâmetro do colo das mudas, ocorrido aos 147 dias de instalação do experimento, são apresentados na TABELA 15 e GRÁFICO 10.

Os resultados da análise estatística de altura média, diâmetro do colo bem como os dados e a análise estatística de biomassa seca de *Pinus taeda* L., constam da TABELA 16.

TABELA 15 - INCREMENTO PERIÓDICO AOS 147 DIAS, DA ALTURA E DO DIÂMETRO DO COLO DE *Pinus taeda* L., EM DOIS TIPOS DE SOLO E CINCO TRATAMENTOS COM RESÍDUOS

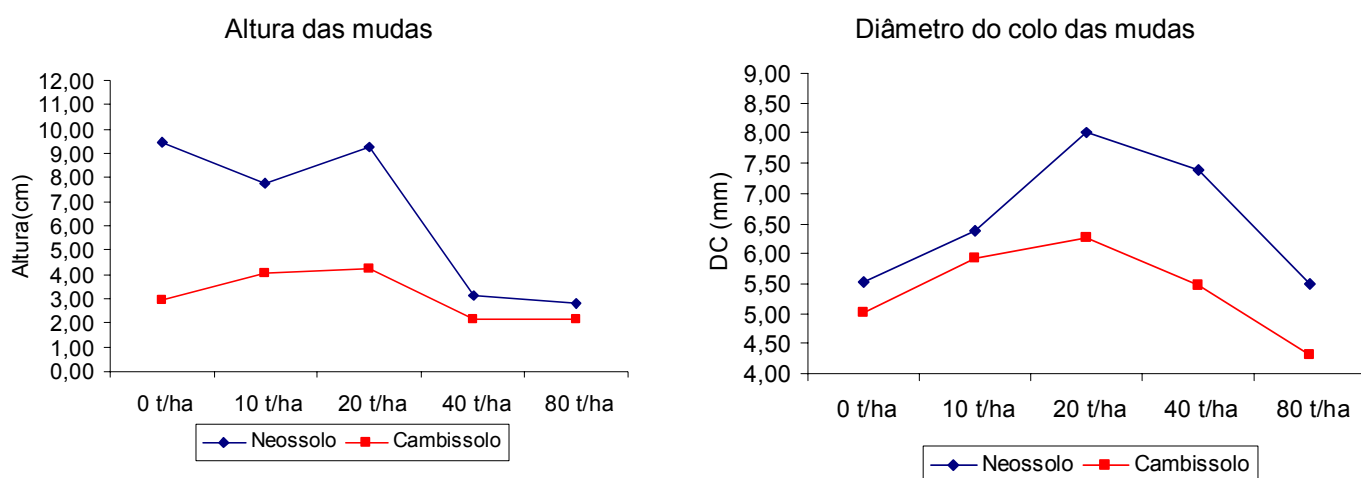
TRAT t/ha	Tipo Solo	MEDIÇÕES						Incremento Médio (mm)
		0 dias	30 dias	58 dias	92 dias	121 dias	147 dias	
		Altura das mudas (cm)						
0	Neossolo	-	29,93	35,13	38,73	39,20	39,37	9,43
10		-	28,30	31,40	33,77	35,90	36,07	7,77
20		-	27,57	31,37	34,00	36,60	36,80	9,23
40		-	30,00	31,67	32,77	33,13	33,13	3,13
80		-	29,20	29,93	31,13	31,73	32,03	2,83
0	Cambissolo	-	28,77	29,73	31,27	31,70	31,70	2,93
10		-	28,07	30,20	31,47	31,97	32,10	4,03
20		-	26,93	27,67	29,53	31,00	31,17	4,23
40		-	27,37	28,00	28,90	29,33	29,53	2,17
80		-	27,23	27,97	28,73	29,00	29,37	2,13
		Diâmetro na Altura do colo (mm)						
0	Neossolo	3,24	4,01	5,99	7,13	8,44	8,76	5,53
10		3,54	3,93	4,82	7,37	9,24	9,91	6,37
20		3,33	4,48	5,69	8,26	9,71	11,36	8,02
40		3,39	4,39	4,92	7,04	9,64	10,78	7,39
80		3,53	4,47	4,98	6,09	8,41	9,04	5,51
0	Cambissolo	3,54	4,96	6,03	7,77	8,26	8,55	5,01
10		3,45	4,20	5,83	7,13	8,56	9,37	5,92
20		3,16	4,43	5,51	7,33	8,84	9,41	6,25
40		3,80	4,34	4,81	7,03	8,10	9,26	5,46
80		3,58	4,51	5,23	6,54	7,44	7,88	4,30

TABELA 16 - BIOMASSA SECA E INCREMENTO PERIÓDICO EM ALTURA DAS MUDAS E DIÂMETRO DO COLO DE *Pinus taeda* L, EM 147 DIAS DE EXPERIMENTO, EM DOIS TIPOS DE SOLO E CINCO TRATAMENTOS COM RESÍDUOS

TRAT t/ha	altura das mudas (cm)		diâmetro do colo (mm)		biomassa seca (g)	
	Neossolo	Cambissolo	Neossolo	Cambissolo	Neossolo	Cambissolo
0	9,433	2,933	5,527	5,013	10,469	7,229
10	7,767	4,033	6,367	5,923	9,401	8,512
20	9,233	4,233	8,023	6,253	14,092	8,408
40	3,133	2,167	7,39	5,463	7,755	7,113
80	2,833	2,133	5,51	4,303	9,077	4,238
Efeito de solos (S)	0,0048		0,011		0,0001	
Efeito de Dose (D)	0,0447		0,021		0,0029	
Efeito interação (SxD)	0,3737		0,7078		0,0816	
Efeito da regressão para Dose						
Linear	0,0180		0,2513		0,0408	
Quadrático	0,0586		0,013		0,1017	
Cúbica	0,0654		0,0181		0,0613	
Ponto de mínimo	63,35		77,20		65,22	
Ponto de máximo	19,84		22,92		15,44	

Observações: Se valor $p < 0,01$: significativo a 1% de probabilidade pelo teste F
Se valor $p < 0,05$: significativo a 5% de probabilidade pelo teste F

GRÁFICO 10 - INCREMENTO PERIÓDICO AOS 147 DIAS, DA ALTURA E DO DIÂMETRO DO COLO (DC) DE *Pinus taeda* L., EM DOIS TIPOS DE SOLO E CINCO TRATAMENTOS COM RESÍDUOS



Os resultados mostram que nos dois tipos de solos, as dosagens de resíduos influenciaram a altura das mudas. No Neossolo, a altura da testemunha teve um incremento superior a todos os tratamentos. A dosagem de 20 t/ha foi superior a todos os tratamentos com resíduos, com redução somente de 2% em relação à testemunha. Houve uma queda no incremento, a partir de 40 t/ha de dosagem com resíduos.

No Cambissolo houve dois tratamentos (10 e 20 t/ha) com incremento em altura superior à testemunha. A dosagem de 20 t/ha foi a melhor entre os tratamentos, inclusive superior em cerca de 30% em comparação a testemunha sem resíduos. Também houve queda no incremento a partir de 40 t/ha.

No Neossolo houve um crescimento em altura superior ao Cambissolo, em todos os tratamentos com resíduos e na testemunha

O incremento periódico em altura das mudas nos solos estudados, mostrou significância estatística (valor $p=0,0048$) para o efeito de solos e doses de resíduos (valor $p=0,047$).

Ao contrário de Secchi e Casiraghi (2004), que não encontraram diferenças estatísticas para a variável altura de *Pinus taeda* L., com aplicação de diferentes dosagens de resíduos de fábrica de papel reciclado (0, 40, 80 e 160 t.ha⁻¹) em 90 dias de ensaio. Não houve diferença estatística significativa para a interação dos dois tipos de solos com as doses de resíduos.

Considerando-se os dois solos estudados, a altura das mudas mostra uma tendência de regressão quadrática, com ponto de máximo de 19,84 t/ha e ponto de mínimo em 63,35 t/ha. Portanto, ao redor de 20 t/ha de resíduos, atinge-se a altura das mudas máxima e decresce a partir deste ponto

Porém, conforme já relatado, a altura das mudas sofreu influência da irrigação durante o ensaio, para estimular a percolação dos resíduos.

Como no caso das alturas considerou-se o incremento periódico para o diâmetro do colo, ou seja, o incremento ocorrido durante o período considerado, do início até o final do experimento.

No Neossolo, três tratamentos (10, 20 e 40 t/ha), foram superiores em altura das mudas, comparando-se com a testemunha, ficando somente a dosagem de 80 t/ha abaixo da testemunha. O melhor desenvolvimento se deu na dosagem de 20 t/ha, com diferença no incremento de 8,02 mm.

Mesmo comportamento verificou-se no Cambissolo, com 03 tratamentos (10, 20 e 40 t/ha) superiores à testemunha, ficando somente a dosagem de 80 t/ha com diâmetro do colo abaixo da testemunha. O melhor desenvolvimento se deu na dosagem de 20 t/ha, com incremento de diâmetro de 6,25 mm.

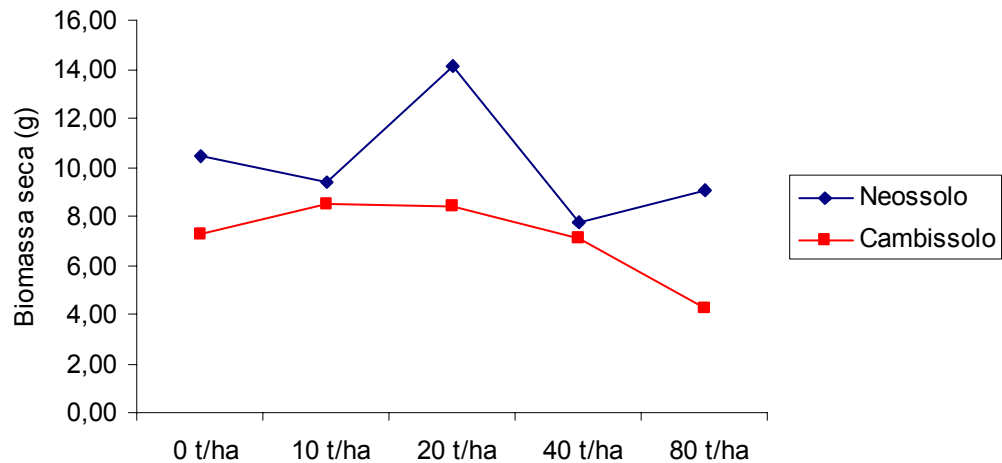
Foram observados resultados significativos (valor $p < 0,05$) para efeito de solos e doses de resíduos (APÊNDICE 15). Não foi significativa para a interação dois tipos de solos e doses de resíduos.

Assim como relatamos em relação à altura das mudas, a irrigação durante o decorrer do experimento, com certeza exerceu influência nos resultados do diâmetro do colo.

A análise de regressão mostrou que existe uma resposta quadrática para a variável diâmetro do colo, apontando a dose de 22,92 t/ha com o ponto de maior diâmetro e 77,20 t/ha o ponto de mínimo das doses de resíduos aplicadas nos dois solos.

.A produção de biomassa seca (GRÁFICO 11), ao contrário dos dados de diâmetro do colo e altura das mudas, teve comportamento diferenciado nos dois tipos de solos.

GRÁFICO 11 - VARIAÇÃO DA BIOMASSA SECA TOTAL DE *Pinus taeda* L., EM DOIS TIPOS DE SOLOS E CINCO TRATAMENTOS COM RESÍDUOS



.No Neossolo a produção de massa seca atingiu o máximo de produção em 20 t/ha (peso de 14,092 g), com os demais tratamentos inferiores à testemunha (10,469 g). A menor produção de biomassa foi na dosagem de 40 t/ha (7,755 g).

No Cambissolo, o máximo de biomassa seca foi atingido em 10 t/ha (8,512 g), mantendo pequena diferença para 20 t/ha (8,408 g) e decrescendo a partir deste ponto. A menor produção de biomassa (4,238 g) foi na dosagem de 80 t/ha.

Para a biomassa seca das plantas, os resultados (valor $p < 0,01$) foram significativos para efeitos do solo e para doses crescentes. Para a interação de solos e doses de resíduos não houve significância estatística.

A análise de regressão mostrou relação quadrática para os dois solos, com ponto de máximo para a produção de biomassa seca em 15,44 t/ha e ponto de mínimo em 65,22 t/ha.

Também para a biomassa seca produzida pelas plantas, a irrigação durante o experimento exerceu influência nos resultados.

Nos três parâmetros analisados do desenvolvimento para as mudas de *Pinus taeda* L., altura das mudas, diâmetro do colo e biomassa seca, o melhor ajuste às doses de resíduos foi de uma curva de ajuste quadrático para estas variáveis, todos apresentando os melhores resultados ao redor de 20 t/ha, decrescendo a partir deste ponto.

5.5 EFEITOS DA APLICAÇÃO DE RESÍDUOS SOBRE AS CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DO SOLO

Nas TABELAS 17 e 18 constam as análises químicas do Neossolo Cambissolo, conforme a profundidade analisada, após a aplicação de resíduos.

TABELA 17 – ANÁLISE QUÍMICA DE NEOSSOLO REGOLÍTICO distrófico húmico, COM PLANTIO DE *Pinus taeda* L., AOS 147 DIAS DE ENSAIO, COM CINCO TRATAMENTOS COM RESÍDUOS

Trat. t/Ha	Profund. Cm	pH CaCl ₂	K	Ca	Mg	Ca+Mg	Al	H+Al	C	P	Na	V%
			cmolc / dm ³						g / dm ³	mg / dm ³		
0	0-10 cm	3,96	0,09	1,27	0,53	1,80	1,96	13,59	27,22	5,77	45,33	13,52
10		4,86	0,09	5,71	0,74	6,46	0,22	7,85	26,49	6,53	43,67	46,69
20		5,37	0,08	8,27	0,49	8,77	0,13	5,29	22,44	9,40	33,33	63,21
40		6,29	0,09	12,27	1,00	13,28	0,00	2,77	24,16	10,37	29,00	83,33
80		6,74	0,1	12,58	1,09	13,67	0,00	2,24	24,28	16,13	35,00	86,62
0	10-20 cm	3,84	0,06	0,52	0,21	0,73	2,40	14,95	26,15	3,40	28,00	5,71
10		3,99	0,04	1,01	0,51	1,52	1,83	13,38	23,34	3,27	22,00	11,12
20		4,27	0,04	2,59	0,95	3,54	1,23	11,88	22,23	4,43	23,33	24,18
40		5,13	0,06	6,20	1,32	7,52	0,32	7,82	21,82	4,60	23,67	50,39
80		5,41	0,05	7,65	1,23	8,88	0,12	5,46	22,88	6,67	22,00	62,55
0	20-30 cm	3,81	0,2	0,52	0,11	0,63	2,57	14,99	23,68	2,73	26,67	5,99
10		3,85	0,25	0,64	0,18	0,82	2,74	14,83	23,17	2,70	23,67	7,41
20		3,88	0,32	0,70	0,43	1,13	2,35	14,44	21,58	3,80	28,67	10,11
40		4,04	0,38	1,12	0,69	1,82	2,42	12,51	23,26	2,57	23,67	15,49
80		3,90	0,18	1,33	1,25	2,59	2,76	10,73	19,98	3,73	19,67	21,35

TABELA 18 - ANÁLISE QUÍMICA DE CAMBISSOLO Húmico distrófico, COM PLANTIO DE *Pinus taeda* L., AOS 147 DIAS DE ENSAIO, COM CINCO TRATAMENTOS COM RESÍDUOS

Trat. t/Ha	Profund. Cm	pH CaCl ₂	K	Ca	Mg	Ca+Mg	Al	H+Al	C	P	Na	V%
			cmolc / dm ³						g / dm ³	mg / dm ³		
0	0-10 cm	4,07	0,14	3,70	1,72	5,42	2,64	11,86	35,71	10,17	56,67	33,09
10		4,72	0,13	10,34	1,16	11,49	0,55	7,78	37,19	12,63	58,67	61,07
20		5,08	0,12	12,31	1,28	13,59	0,16	5,87	36,37	8,20	50,33	70,90
40		6,43	0,14	15,70	2,57	18,26	0,00	5,81	35,93	13,13	39,00	78,79
80		6,85	0,15	18,33	2,13	20,46	0,00	2,18	36,35	16,60	48,00	90,98
0	10-20 cm	3,85	0,09	1,60	0,91	2,51	3,82	12,66	33,14	6,07	31,00	17,89
10		4,18	0,08	4,35	1,26	5,61	2,45	11,18	34,87	6,60	31,67	32,92
20		4,06	0,07	2,95	1,42	4,37	2,22	10,99	34,39	4,57	25,00	29,39
40		4,22	0,09	2,91	1,39	4,31	1,58	7,77	33,53	5,13	27,00	42,39
80		4,40	0,09	5,75	2,25	8,00	1,21	9,68	33,05	6,70	27,33	46,06
0	20-30 cm	3,81	0,23	1,13	1,36	2,49	4,22	13,50	34,06	4,80	27,67	17,39
10		3,81	0,22	1,09	0,79	1,88	3,98	13,43	33,41	5,13	27,67	14,25
20		3,89	0,30	1,37	1,02	2,39	3,20	12,44	32,79	4,23	34,33	18,87
40		3,92	0,39	1,50	1,49	2,99	2,78	12,18	33,80	3,50	21,33	22,00
80		4,03	0,27	2,23	1,09	3,32	3,06	11,33	33,32	2,03	9,00	24,31

O Neossolo apresentou até 20 cm de profundidade, 60% de areia, 23% de argila e 17% de silte. O Cambissolo apresentou até 20 cm de profundidade, 15% de areia, 38% de argila e 46% de silte.

5.5.1 pH, alumínio (Al) e acidez Potencial

Na TABELA 19 e GRÁFICO 12 é apresentada a variação do pH, de acordo com os solos, dosagens e camadas do solo. O pH CaCl_2 é determinado em uma solução de cloreto de cálcio, com redução das possíveis interferências na solução, com valores cerca de 0,6 pontos abaixo do pH em água.

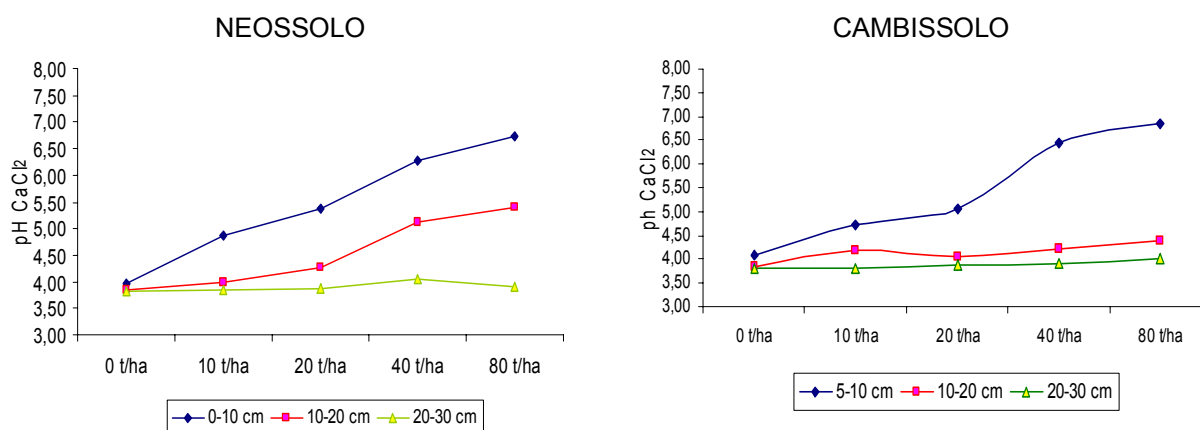
O pH em água é considerado muito baixo, quando menor que 5,0; e baixo entre 5,1 a 5,4 (EMBRAPA, 1999).

TABELA 19 – VARIAÇÃO DO pH CaCl_2 , EM DOIS TIPOS DE SOLO E CINCO TRATAMENTOS COM RESÍDUOS

Tipo de Solo	Camadas (cm)	TRAT - t/ha				
		0	10	20	40	80
NEOSSOLO	C1	3,96	4,86	5,37	6,29	6,74
	C2	3,84	3,99	4,27	5,13	5,41
	C3	3,81	3,85	3,88	4,04	3,9
CAMBISSOLO	C1	4,07	4,72	5,08	6,43	6,85
	C2	3,85	4,18	4,06	4,22	4,4
	C3	3,81	3,81	3,89	3,92	4,03

NOTA: *C1: 0-10 cm; C2: 10-20 cm; C3: 20-30 cm

GRÁFICO 12 – VARIAÇÃO DO pH CaCl_2 , EM DOIS TIPOS DE SOLOS E CINCO TRATAMENTOS COM RESÍDUOS



Neste trabalho observou-se mudanças no pH do solo, com a análise estatística (APÊNDICE 1) apontando diferença para o teste F (valor <0,05), para

Neossolo e Cambissolo, sendo que o primeiro apresentou mudanças maiores, principalmente pelas modificações na camada C2 (10-20 cm).

Os resultados do pH do solo foram muito semelhantes, qualificados como muito ácidos, nas três camadas analisadas. Nas testemunhas do Neossolo, variou entre 3,81 a 3,96, e no Cambissolo de 3,81 a 4,07.

Tomando-se por base a média nas 03 camadas, com a aplicação de resíduos no Neossolo, o pH alterou-se de forma progressiva, em 4,23; 4,51; 5,15 e 5,35, respectivamente em dosagens de 10,20,40 e 80 t/ha. Para o Cambissolo, o pH alterou-se para 4,23; 4,34; 4,86 e 5,09, para as mesmas dosagens.

A análise estatística (APÊNDICE 1) comprovou estas variações, apontando diferença para o teste F (valor $<0,05$), para Neossolo e Cambissolo, sendo que ambos apresentaram alterações acentuadas no pH, nas três camadas do solo, com maior diferença na camada superficial C1 (0-10 cm).

A elevação do pH a 5,5 para Pinus, é recomendada pela Comissão de Química e Fertilidade do Solo – RS /SC (2004), visando mais o suprimento de cálcio e magnésio.

Apesar do curto período do experimento, houve uma modificação significativa do pH. As dosagens máximas aplicadas (80 t/ha), em ambos os solos, proporcionaram os maiores aumentos no pH, em comparação à testemunha.

As dosagens crescentes também mostraram significância estatística, com erro inferior a 1%. As maiores dosagens proporcionaram as maiores elevações no pH, concordando com Glória (1992) e Rodrigues (2004), pois afirmam que, normalmente, quanto maior a carga orgânica, maior o pH.

Também foram significativos os resultados para as camadas do solo, onde o pH é mais alto na camada superficial (0-10), confirmando Kiehl (1985), ao descrever o efeito do uso de resíduos orgânicos no aumento do pH, com maior intensidade nas camadas mais próximas à superfície do solo.

Quando confrontados os dois tipos de solos com doses de resíduos, não existiu diferenças estatísticas, principalmente pelas diferentes reações dos resíduos nos solos, com o Neossolo apresentado mudança mais acentuada em relação ao Cambissolo.

A interação de solos com doses de resíduos e as três camadas do solo, o resultado passa a ser significativo ao nível de 1% para o teste F.

A análise dos contrastes entre as camadas C1 (0-10 cm), C2 (10-20 cm), C3 (20-30 cm), foram significativas para o teste F. Isto confirma as modificações do pH ao longo do perfil do solo, com maior intensidade nas camadas até 20 cm.

A análise de regressão das doses mostrou para o Neossolo o ponto de máximo entre 63,77 a 80 t /ha (baseado nas camadas C1 e C2). Para o Cambissolo, nas camadas C1 e C2, ponto de máximo foi de 80 t /ha.

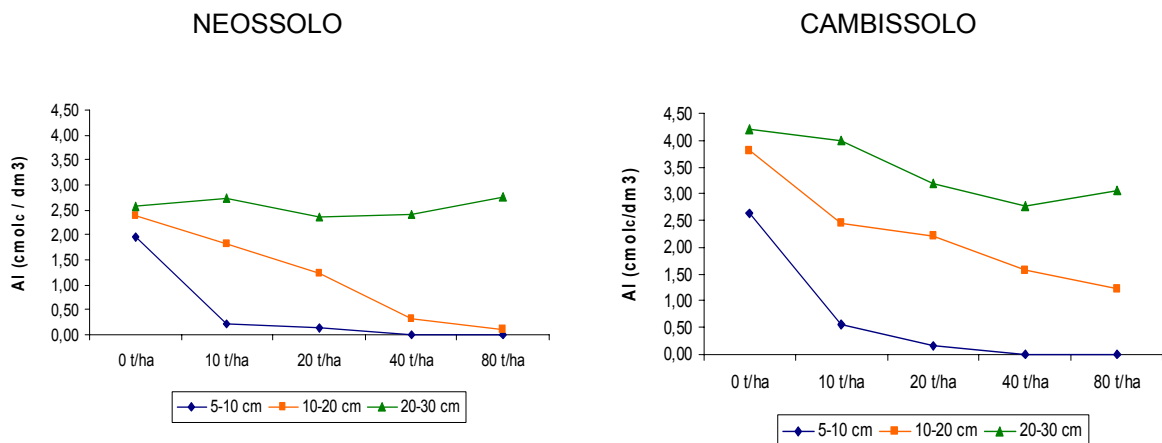
Na TABELA 20 e no GRÁFICO 13 são apresentados os teores de Alumínio no Neossolo e Cambissolo, de acordo com as profundidades e tratamentos.

TABELA 20 – TEOR DE ALUMÍNIO ($\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$), EM DOIS TIPOS DE SOLO E CINCO TRATAMENTOS COM RESÍDUOS

Tipo de Solo	Camadas (cm)	TRAT - t/ha				
		0	10	20	40	80
NEOSSOLO	C1	1,96	0,22	0,13	0,00	0,00
	C2	2,40	1,83	1,23	0,32	0,12
	C3	2,57	2,74	2,35	2,42	2,76
CAMBISSOLO	C1	2,64	0,55	0,16	0,00	0,00
	C2	3,82	2,45	2,22	1,58	1,21
	C3	4,22	3,98	3,20	2,78	3,06

NOTA: *C1: 0-10 cm; C2: 10-20 cm; C3: 20-30 cm

GRÁFICO 13 – VARIAÇÃO DO TEOR DE ALUMÍNIO (Al), EM DOIS TIPOS DE SOLOS E CINCO TRATAMENTOS COM RESÍDUOS



Os teores de alumínio são considerados altos, tomando por base a interpretação do IAPAR (1979), que considera baixo teor ($<0,5$), médio ($0,5$ a $1,5$) e alto ($> 1,50$).

Normalmente a aplicação de resíduos orgânicos no solo provoca entre outros efeitos, a diminuição do alumínio trocável no solo (MELO, MARQUES e MELO, 2002).

Isto foi confirmado pela análise estatística (APÊNDICE 1), mostrando diferença significativa para o teste F (valor $p < 0,01$) para os efeitos de solos.

Os teores de alumínio decresceram de acordo com o aumento das doses de resíduos, confirmado pela análise estatística (valor $p < 0,01$).

As dosagens maiores promoveram diminuição drástica nos teores, chegando a serem nulos nas camadas superiores (0-10 cm), nas dosagens de 40 e 80 t/ha, nos dois solos.

Porém, quando analisados conjuntamente, os dois tipos de solo e as dosagens, assim como na análise do pH, não se encontra valor estatístico representativo. Isto se repete na interação dos solos, doses e camadas, também não significativa.

Em ambos os solos, os teores de alumínio cresceram na profundidade e doses aplicadas, provado pela diferença estatística, para solos e camadas, e doses e camadas. Com o pH do solo, a relação foi inversa (diminuiu com o aumento na profundidade).

Os teores de alumínio decresceram conforme o incremento nas dosagens. No Neossolo isto ficou bem caracterizado, com queda bastante acentuada nas três camadas do solo, mostrando a percolação do elemento entre elas, evidenciada pela diferença significativa dos contrastes (valor $p < 0,01$) entre as camadas C1(0-10 cm) com camadas C2(10-20 cm) e camada C3 (20-30 cm); e entre as duas últimas camadas. O ponto de mínimo para o Neossolo ficou entre 63,77 a 80 t/ha.

No Cambissolo ocorreu a mesma tendência de queda nos teores, porém, com menor intensidade em relação ao Neossolo, nas camadas C2 e C3, com ponto de máximo de 80 t/ha.

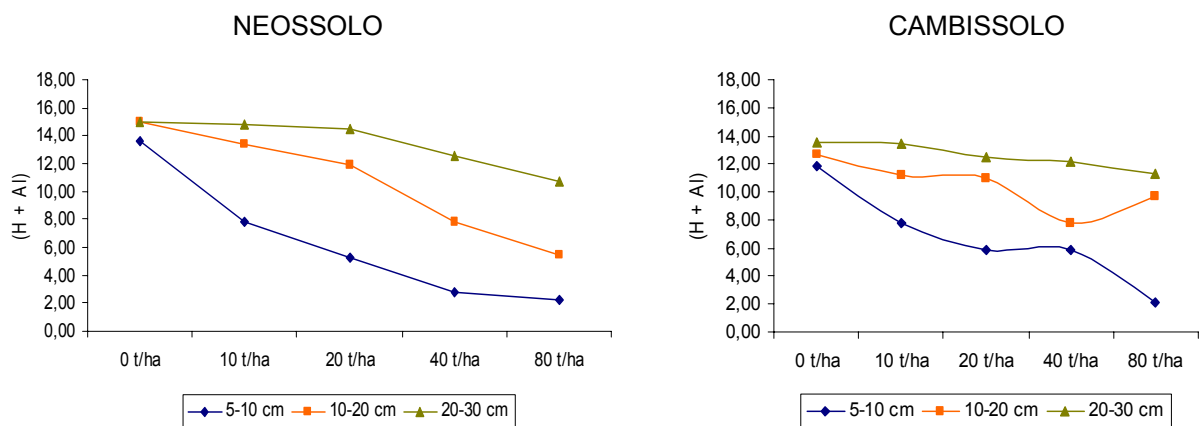
Os teores encontrados na testemunha são muito elevados, em ambos os solos e profundidades, sendo no Neossolo um pouco superior ao Cambissolo.

A adição de resíduos provocou diminuição dos teores de alumínio (Gráfico 14), com diferenciação conforme as dosagens e profundidades, contribuindo para não se estabelecer diferença estatística (APÊNDICE 1) entre os solos.

O incremento nas doses dos resíduos proporcionou diminuição da acidez potencial (GRÁFICO 14).

A Análise estatística (APÊNDICE 2) apresentou diferença significativa para doses (valor $p < 0,01$). Também houve resultados significativos (valor $p < 0,01$) para as camadas do solo.

GRÁFICO 14 – VARIAÇÃO NA ACIDEZ POTENCIAL (H + AI), EM DOIS TIPOS DE SOLOS E CINCO TRATAMENTOS COM RESÍDUOS



A resposta das reações aos solos e doses revelou-se também significativa (valor $p < 0,005$), bem como para doses e camadas (valor $p: 0,0301$). Porém, a interação de solos, doses e camadas não foi significativa.

Quando analisados os contrastes, confirma-se a movimentação ocorrida dos íons H^+ e Al^{+3} entre as camadas, com os resultados significativos (valor $p < 0,01$) entre as camadas mais superficiais (0-10 e 10-20 cm) e mais profundas (20-30 cm) do perfil estudado.

Para os dois tipos de solo, o aumento nas dosagens dos resíduos proporcionou diminuição da acidez potencial, encontrando uma relação inversa com o pH do solo, que aumentou com o incremento nas dosagens.

Também para os dois tipos de solo, com relação às três camadas do solo, a acidez potencial aumentou com a profundidade do solo. O pH também seguiu a relação inversa, diminuindo com a profundidade das camadas.

Resultado semelhante foi relatado por Rodrigues (2004), com os teores de alumínio e hidrogênio, diminuindo em todas as camadas em relação aos tratamentos que receberam dosagens de resíduos celulósicos em *Pinus taeda*. O autor também relata relação inversa com o pH do solo, que aumentou com as maiores profundidades no solo.

5.5.2 Cálcio (Ca) e magnésio (Mg)

O aumento dos teores de cálcio causado pela aplicação de resíduos é relatada por diversos autores, mesmo resultado conseguido neste trabalho. Com o resíduo da fábrica de papel reciclado, conseguiu-se a elevação nos teores de cálcio (TABELA 21 e GRÁFICO 15), nos dois tipos de solos.

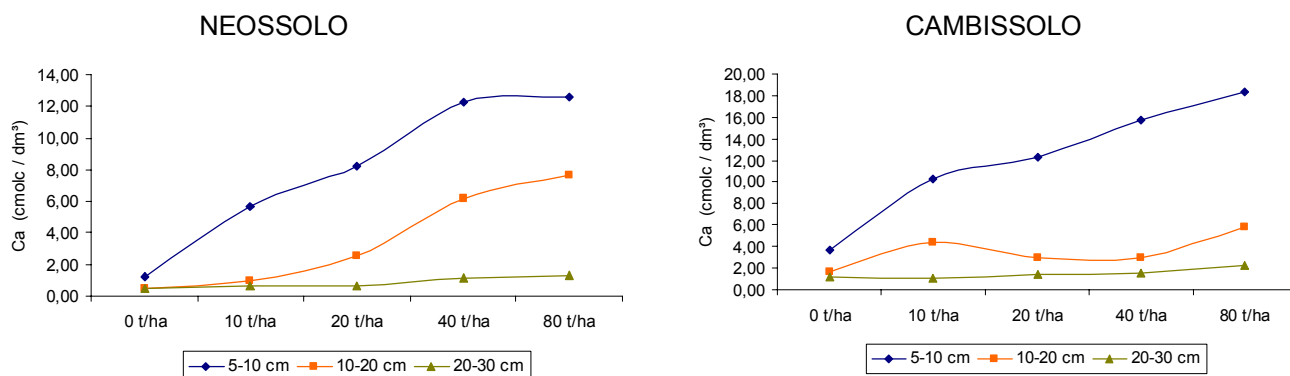
Para o cálcio, o teor é considerado baixo quando inferior a $2,0 \text{ cmol}_c\text{dm}^{-3}$; médio de $2,1$ a $4,0 \text{ cmol}_c\text{dm}^{-3}$ e alto, quando acima de $4,0 \text{ cmol}_c\text{dm}^{-3}$ (COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - RS /SC, 2004).

TABELA 21 – TEORES DE CÁLCIO, MAGNÉSIO E CÁLCIO + MAGNÉSIO EM DOIS TIPOS DE SOLOS E CINCO TRATAMENTOS COM RESÍDUOS (em $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$)

Tipo de Solo	TRAT t/ha	Cálcio			Magnésio			Cálcio + Magnésio		
		Profundidades – cm								
		C1	C2	C3	C1	C2	C3	C1	C2	C3
NEOSSOLO	0	1,270	0,520	0,520	0,530	0,210	0,110	1,797	0,727	0,630
	10	5,710	1,010	0,640	0,740	0,510	0,180	6,457	1,523	0,820
	20	8,270	2,590	0,700	0,490	0,950	0,430	8,767	3,540	1,127
	40	12,270	6,200	1,120	1,000	1,320	0,690	13,277	7,523	1,817
	80	12,580	7,650	1,330	1,090	1,230	1,250	13,670	8,877	2,587
CAMBISSOLO	0	3,700	1,600	1,130	1,720	0,910	1,360	5,420	2,510	2,490
	10	10,340	4,350	1,090	1,160	1,260	0,790	11,490	5,610	1,880
	20	12,310	2,950	1,370	1,280	1,420	1,020	13,590	4,370	2,390
	40	15,700	2,910	1,500	2,570	1,390	1,490	18,260	4,310	2,990
	80	18,330	5,750	2,230	2,130	2,250	1,090	20,460	8,000	3,320

NOTA: *C1: 0-10 cm; C2: 10-20 cm; C3: 20-30 cm

GRÁFICO 15 – VARIAÇÃO DO TEOR DE CÁLCIO (em $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$), EM DOIS TIPOS DE SOLOS E CINCO TRATAMENTOS COM RESÍDUOS



Em ambos os solos, as doses crescentes de resíduos, proporcionaram incremento dos teores de cálcio, principalmente nas camadas superficiais C1(0-10 cm) e C2(10-20 cm). Na camada C3 (20-30 cm), houve menor intensidade na elevação dos teores de cálcio em relação às camadas C1 e C2.

No Neossolo, naturalmente com menores teores de cálcio, a elevação foi bastante expressiva, atingindo com a aplicação de 80 t/ha, incrementos de 89% na camada C1 e 93% na camada C2.

As transformações em ambos os solos, dosagens e camadas, proporcionaram diferenças estatísticas (APÊNDICE 3) com valor significativo para solos, doses e camadas e todas as suas interações (valor $p < 0,01$), com mudança apenas na interação de solos com camadas (valor $p < 0,05$).

Comparando com a citação da Comissão de Química e Fertilidade do Solo - RS /SC (2004), observou-se nas camadas iniciais (0-10 cm), após a aplicação dos resíduos, teores altos de cálcio em ambos os solos.

Na camada logo abaixo (10 a 20 cm), as concentrações foram menores em relação à camada superficial, com tendência de maior crescimento a partir do tratamento com 20 t/ha.

Na camada inferior (20-30 cm), os teores de cálcio foram baixos nos dois solos, em todos os tratamentos, porém, superiores à testemunha. Com isto, para os diversos contrastes entre as camadas, a análise estatística também mostrou-se significativa (valor $p < 0,01$).

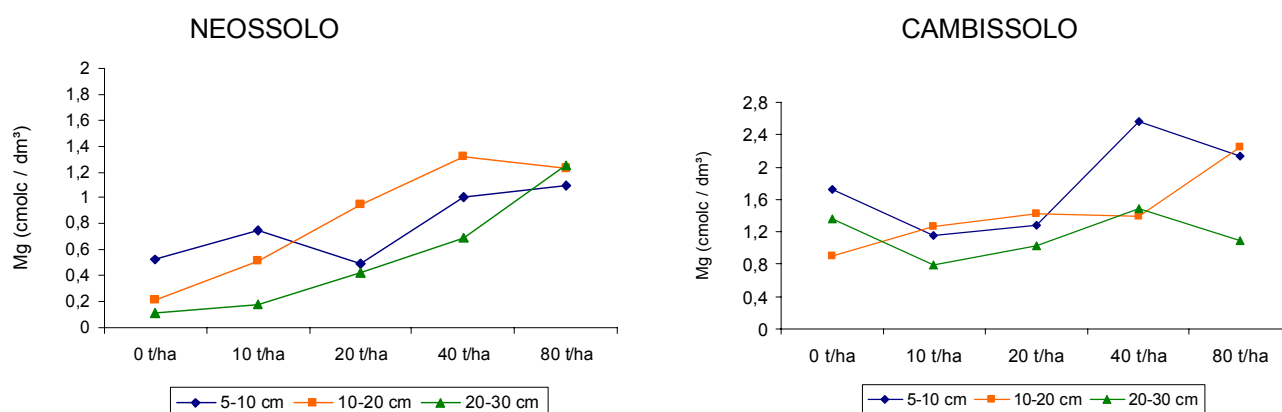
Em geral, o cálcio apresentou-se com maiores teores nas camadas superficiais do solo, diminuindo conforme a profundidade. O mesmo comportamento é relatado por Rodrigues (2004), em tratamento com resíduos celulósicos.

O aumento elevado de teores de nutrientes como o cálcio, como observado neste trabalho, contrapondo-se com baixas concentrações de magnésio e potássio, podem trazer problemas na disponibilidade destes elementos (NOLASCO; GUERRINI; BENEDETTI, 2005; RAIJ, 1981).

Os resíduos de papel proporcionaram aumento nos teores de magnésio (GRÁFICO 16).

O teor de magnésio no solo (em $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$), é considerado baixo com 0,5; médio entre 0,6 a 1,0; alto acima de 1,0 $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$ (COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO – RS / SC, 2004).

GRÁFICO 16 - VARIAÇÃO DO TEOR DE MAGNÉSIO (em $\text{cmol}_c \cdot \text{dm}^{-3}$), EM DOIS TIPOS DE SOLOS E CINCO TRATAMENTOS COM RESÍDUOS



Os teores de magnésio são baixos na condição natural (testemunha), crescendo de acordo com o incremento nas doses de resíduos aplicadas, em ambos os solos.

A análise estatística (APÊNDICE 3), apresentou resultados significativos para solos e doses (valor $p < 0,01$).

No estudo das camadas do solo, observou-se que a distribuição do magnésio entre as diferentes profundidades, sofreu oscilações, conforme o solo e a profundidade considerada. Esta tendência também foi observada em tratamentos de resíduos celulósicos por Rodrigues (2004).

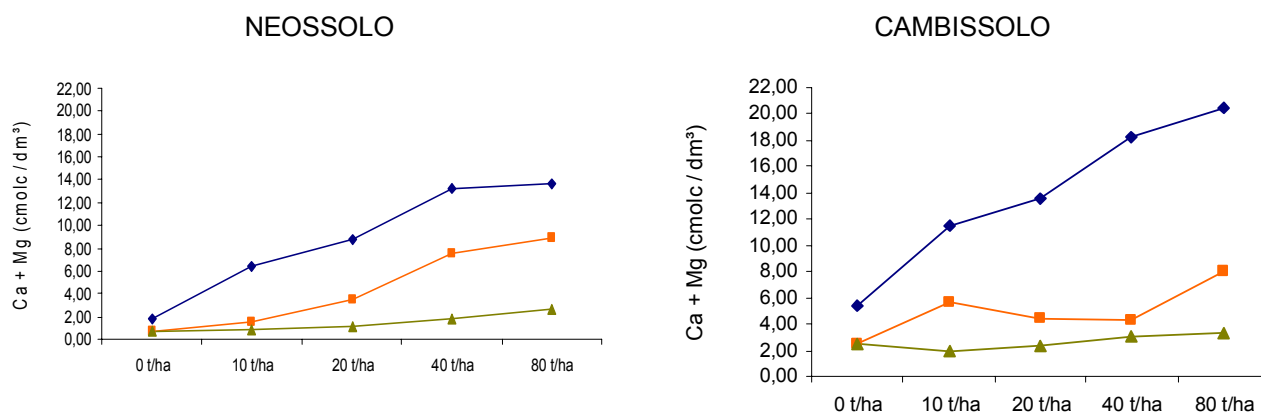
A análise estatística foi significativa para camadas (valor $p < 0,01$). Porém, sem significância nas diversas outras interações entre solos, doses e camadas.

A variação entre as camadas refletiu nos contrastes entre as mesmas, com o Neossolo apresentando valor significativo ($p < 0,05$) somente na relação das camadas inferiores C2 (10-20 cm) com C3 (20-30 cm). Resultado contrário foi observado no Cambissolo, com diferença estatística (probabilidade de 5%) nas camadas superiores C1 (0-10 cm) com C2 e C3.

A análise de regressão apontou o ponto de máximo de teor de magnésio com doses entre 57,45 a 80,00 t/ha.

Os teores de cálcio + magnésio são mostrados no GRÁFICO 17. O efeito conjunto dos nutrientes (cálcio + magnésio) elevaram os teores dos nutrientes nos dois tipos de solo. Houve também resposta positiva para as crescentes doses de resíduos e nas camadas do solo. Os maiores teores se encontram nas camadas superficiais (0-10 cm).

GRÁFICO 17 - VARIAÇÃO DO TEOR DE CÁLCIO + MAGNÉSIO (em $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$), EM DOIS TIPOS DE SOLOS E CINCO TRATAMENTOS COM RESÍDUOS



Assim, houve resultado significativo (valor $p < 0,01$), segundo a análise estatística (APÊNDICE 4), para solos, doses, camadas, solos e camadas, doses e camadas, e para solos, doses e camadas. Não houve diferença estatística para a interação de solos e doses.

Nos contrastes, os resultados mostraram interação entre todas as camadas estudadas (C1, C2 e C3), com resultado significativo ao nível de 1%.

O ponto de máximo para as doses variou de 63,54 t/ha no Neossolo a 80,00 t/ha no Cambissolo.

5.5.3 Matéria orgânica

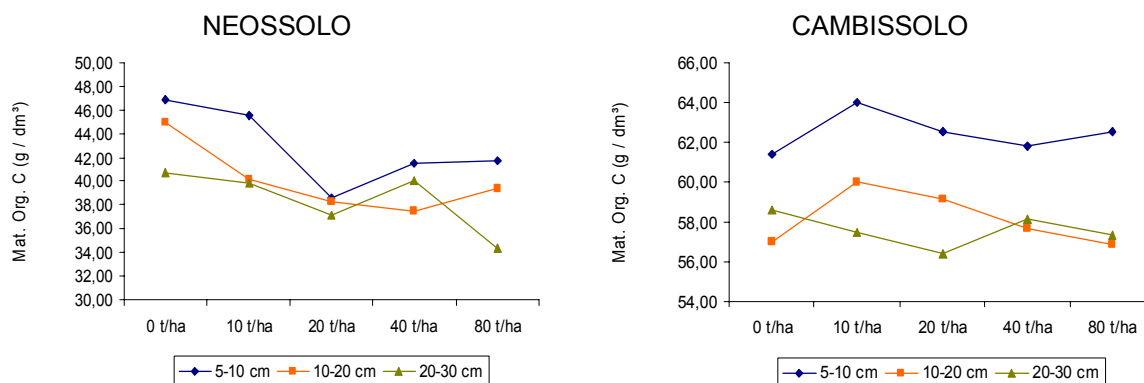
Os resultados da matéria orgânica constam da TABELA 22 e GRÁFICO 18.

TABELA 22 – MATÉRIA ORGÂNICA (g/dm^3), EM DOIS TIPOS DE SOLOS E CINCO TRATAMENTOS COM RESÍDUOS

Tipo de Solo	Camadas (cm)	TRAT - t/ha				
		0	10	20	40	80
NEOSSOLO	C1	46,82	45,57	38,60	41,55	41,77
	C2	44,97	40,14	38,24	37,52	39,35
	C3	40,72	39,85	37,12	40,00	34,37
CAMBISSOLO	C1	61,42	63,97	62,56	61,81	62,52
	C2	57,00	59,97	59,15	57,67	56,85
	C3	58,58	57,47	56,39	58,14	57,31

NOTA: *C1: 0-10 cm; C2: 10-20 cm; C3: 20-30 cm

GRÁFICO 18 - VARIAÇÃO NA MATÉRIA ORGÂNICA, EM DOIS TIPOS DE SOLOS COM APLICAÇÃO DE DIFERENTES DOSES DE RESÍDUOS



Os teores de Carbono foram transformados em teores de matéria orgânica pela multiplicação por constante (1,72), procedimento também citado por outros autores (RAIJ, 1981; KIEHL, 1985).

Os resultados da matéria orgânica mostram teores médios para o Neossolo (26-50 g / dm³), e valores altos (>50 g / dm³) para o Cambissolo (COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO – RS /SC (2004).

No Neossolo, os teores de matéria orgânica na testemunha são médios, em todas as profundidades. A adição de resíduos de papel, em todos os tratamentos manteve este teor médio. Com a profundidade no solo, houve tendência de pequena queda (entre 5 a 13%) nos teores de matéria orgânica. As dosagens crescentes não resultaram no aumento da matéria orgânica, inclusive com efeito contrário, com decréscimo nas doses de 40 e 80 t/ha.

No Cambissolo, foram observados altos teores na testemunha, que praticamente não foram modificados pela adição dos resíduos nas diferentes profundidades no solo. Isto resultou numa diferença estatística significativa (APÊNDICE 5) para solos, doses e camadas (valor $p < 0,01$), e nas interações de solos e doses.

Nos contrastes entre as camadas, notou-se mobilidade de teores apenas nas camadas superiores, relacionando-se com valor significativo (valor $p < 0,01$), apenas na camada C1 com camada C2 e camada C3.

Normalmente espera-se aumento no teor de matéria orgânica, com a aplicação de resíduos orgânicos no solo (MELO; MARQUES; MELO, 2002; KIEHL, 1985), fato não comprovado neste experimento, onde a aplicação de resíduos não implicou no aumento dos teores da matéria orgânica.

Diversos autores relatam a complexa relação entre a matéria orgânica e uso de resíduos, sem as modificações esperadas de aumento nos teores ao longo do perfil. A maioria não apresenta conclusão clara sobre o assunto, atribuindo-se em alguns casos, ao aumento da atividade microbiana e baixa relação C/N dos resíduos, que combinado com a disponibilidade de nutrientes, causou intensificação da atividade microbiana neste resíduo e no solo, acelerando a taxa de decomposição da matéria orgânica, mecanismo sendo conhecido como "efeito priming" (GUEDES *et al.*, 2006). Também ocorrem dificuldades de reação dos solos tropicais, de promover aumentos significativos nos teores de matéria orgânica, em curto espaço de tempo.

Portanto, no presente trabalho, a adição de resíduos nos dois tipos de solos não implicou em aumento dos teores de matéria orgânica, carecendo de maior investigação, confirmando observações de Tauk (1990), que sugere mais estudos sobre biodegradação onde normalmente a complexidade física e química dos resíduos orgânicos desfavorece a ocorrência de um processo degradativo biologicamente simples, que ocorre no solo.

5.5.4 Potássio (K)

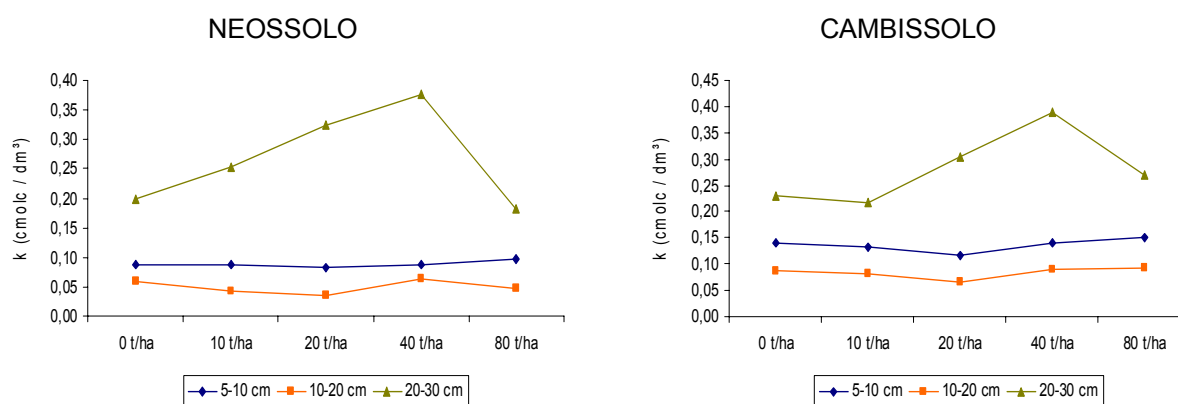
Os resultados da análise de solo para os teores de potássio sob aplicação de resíduos, constam da TABELA 23 e GRÁFICO 19.

TABELA 23 - TEOR DE POTÁSSIO (g/ dm^3), EM DOIS TIPOS DE SOLOS E CINCO TRATAMENTOS COM RESÍDUOS

Tipo de Solo	Camadas (cm)	TRAT - t/ha				
		0	10	20	40	80
NEOSSOLO	C1	0,087	0,087	0,083	0,087	0,097
	C2	0,060	0,043	0,037	0,063	0,047
	C3	0,200	0,253	0,323	0,377	0,183
CAMBISSOLO	C1	0,140	0,133	0,117	0,140	0,150
	C2	0,087	0,083	0,067	0,090	0,093
	C3	0,230	0,217	0,303	0,390	0,270

*C1: 0-10 cm; C2: 10-20 cm; C3: 20-30 cm

GRÁFICO 19 - VARIAÇÃO DO TEOR DE POTÁSSIO (K), EM DOIS TIPOS DE SOLOS, COM APLICAÇÃO DE DIFERENTES DOSES DE RESÍDUOS



O tratamento testemunha (0,060 a 0,23 g/ dm³) mostrou teor muito baixo (COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO – RS /SC, 2004; BELLOTE; SILVA, 2005). A aplicação de resíduos nos dois solos resultou em teores muito semelhantes, com pequena diferença (menor) no Neossolo em relação ao Cambissolo.

Mesmo efeito foi verificado com as doses aplicadas, originando diferença estatística para solos e para doses (valor $p < 0,05$). Não houve significância para a interação de solos e doses.

Entre as camadas dos solos, notou-se distribuição de teores muito semelhantes na camada C1 (0-10 cm), com pequena diferença na camada C2 (10-20 cm) para o Neossolo, compensado pelo teor um pouco superior para o Cambissolo na camada C3 (20-30 cm).

A mobilidade do potássio ocasionou o efeito nos contrastes das camadas C1 com a C2 e C3, migrando das camadas superiores em direção às camadas mais baixas. A análise estatística mostrou respectivamente, significância de 1% e 5% de probabilidade, para o Cambissolo e Neossolo.

Nas camadas iniciais do solo (0-10 cm), ocorreu pouca alteração nos teores de potássio, comparando-se com a testemunha. A concentração foi maior na camada inferior (20-30 cm), mostrado pelo contraste entre as camadas C2 e C3 com valor significativo (valor $p < 0,01$), para ambos os solos. Nas camadas de 10-20 cm, os teores de potássio apresentaram equilíbrio e com maior aumento na camada de 20-30 cm nas dosagens de 20 e 40 t/ha.

Assim, para as camadas do solo, os resultados estatísticos (APÊNDICE 6) foram significativos para o teste F (valor $p < 0,01$), bem como para camadas e doses (valor $p < 0,05$). Não foram significativos para as interações conjunta de solo e camadas e para solos, doses e camadas.

Normalmente os bio-sólidos não são boas fontes para o suprimento de potássio (PAGLIA, 2004; NOLASCO; GUERRINI; BENEDETTI, 2005), caso do resíduo estudado, cuja análise inicial, já apontava baixa concentração do nutriente.

Embora se verificasse algum acréscimo após a aplicação de resíduos nos solos, os teores continuaram muito baixos, em todas as dosagens e profundidades.

Conclusão idêntica encontrou Rodrigues (2004), avaliando tratamentos com resíduo celulósico.

Assim, no uso como fertilizante deste tipo de resíduo, será indispensável uma suplementação com outras fontes de potássio.

Deve-se citar ainda as possíveis perdas de potássio por lixiviação, causada pela água de irrigação nos vasos do experimento. Também a absorção maior de potássio é dependente de concentrações relativamente baixas do cálcio (MELO; MARQUES; MELO, 2002; MALAVOLTA, 1981). Neste estudo, os maiores teores de cálcio ocorreram nas camadas superficiais do solo, diminuindo conforme a profundidade no solo. Já o potássio realizou o caminho inverso, acumulando-se nas camadas inferiores do solo.

5.5.5 Fósforo (P)

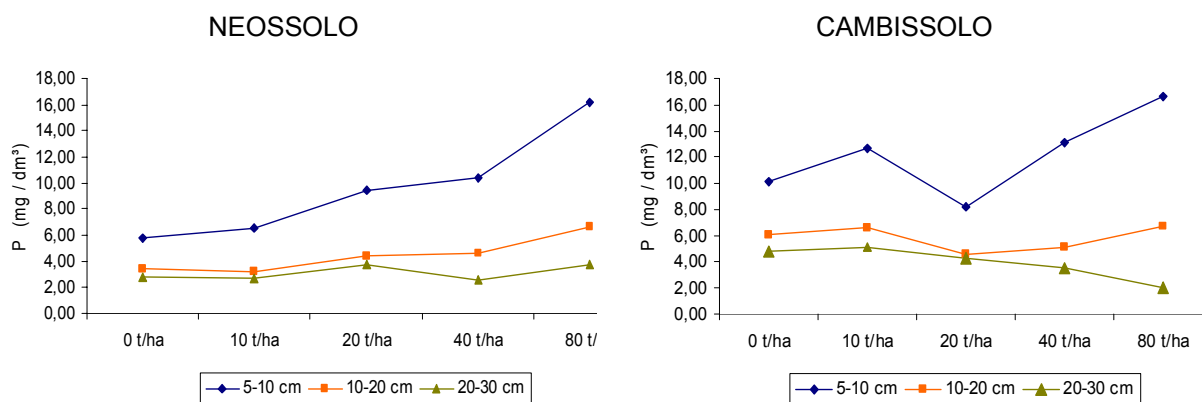
Os resultados dos teores de fósforo com a aplicação dos resíduos de papel no solo, são mostrados na TABELA 24 e GRÁFICO 20.

TABELA 24 - TEOR DE FÓSFORO (mg/dm^3), EM DOIS TIPOS DE SOLOS E CINCO TRATAMENTOS COM RESÍDUOS

Tipo de Solo	Camadas (cm)	TRAT - t/ha				
		0	10	20	40	80
NEOSSOLO	C1	5,767	6,533	9,400	10,367	16,133
	C2	3,400	3,267	4,433	4,600	6,667
	C3	2,733	2,700	3,800	2,567	3,733
CAMBISSOLO	C1	10,167	12,633	8,200	13,133	16,600
	C2	6,067	6,600	4,567	5,133	6,700
	C3	4,800	5,133	4,233	3,500	2,033

*C1: 0-10 cm; C2: 10-20 cm; C3: 20-30 cm

GRÁFICO 20 – VARIAÇÃO DO TEOR DE FÓSFORO (P), EM DOIS TIPOS DE SOLOS, COM APLICAÇÃO DE DIFERENTES DOSES DE RESÍDUOS



Para a Comissão de Química e Fertilidade do Solo - RS /SC (2004), os teores de fósforo (em mg/dm^3), são considerados muito baixos ($\leq 3,0$); baixo (3,1-6,0); médio (6,1-9,0); alto (9,1-18) e muito alto ($>18,0$).

Neste trabalho, a adição de resíduo proporcionou ganhos nos teores de fósforo no Neossolo e Cambissolo. Neste último com maior intensidade, resultando em diferença estatística para solos com 1% de probabilidade (APÊNDICE 6).

As doses crescentes proporcionaram aumento nos teores, principalmente na camada C1 (0-10 cm), superando a $16,00 \text{ mg}/\text{dm}^3$, em ambos os solos, na dose de 80 t/ha, muito superior à testemunha (com 5,76 - Neossolo e $10,17 \text{ mg}/\text{dm}^3$ - Cambissolo). Isto contribuiu para o valor significativo alcançado (valor $p < 0,01$), para as doses de resíduos e também para a interação dos solos com as doses.

Para o Neossolo, a testemunha apresentou baixo teor de fósforo. Com a adição de resíduo, os ganhos foram significativos, principalmente nas camadas iniciais (0-10cm), com teores altos a partir de 20 e 40 t/ha (respectivamente 9,40 e $10,36 \text{ mg}/\text{dm}^3$), e continuando a crescer na dose com 80 t/ha ($> 16,13 \text{ mg}/\text{dm}^3$).

No Cambissolo, houve maior impacto nas camadas iniciais (0-10 cm), com teores altos nas dosagens acima de 40 t/ha. Nas camadas de 10-20 cm, as mudanças não foram tão significativas e na camada mais profunda (20-30 cm), houve decréscimo conforme o aumento nas dosagens de resíduos.

Aumentos nas camadas superficiais dos teores de fósforo também foram relatados por Rodrigues (2004); Rezende (2005); Rocha, Gonçalves e Moura (2004).

Resultado contrário obteve Balbinot Junior *et. al.* (2006), com a aplicação de resíduos de fábrica de papel reciclado, não modificando os teores de fósforo nos tratamentos

Neste estudo tivemos resultados significativos para camadas e para a interação de doses com camadas, com 1% de probabilidade, e 5% para solos e camadas. Quando considerada a interação de solos, doses e camadas, não houve significância estatística.

Os contrastes mostraram o deslocamento do fósforo nas camadas do solo, com a adição dos resíduos concentrando o nutriente na camada superior (0-10 cm), diminuindo na camada seguinte (10-20 cm), e finalmente estabilizando na última camada.

No contraste da camada 1 com camadas 2 e camada 3, e também no contraste da camada 2 com camada 3, em ambos os solos, houve significância estatística para teste F ao nível de 1%.

O ajuste de regressão para as doses nas diferentes camadas, indicou os melhores resultados nos teores para o fósforo, quando se atingir ponto de máximo entre 78,00 a 80,00 t/ha de resíduos.

5.5.6 Saturação em bases (v%) e sódio (Na)

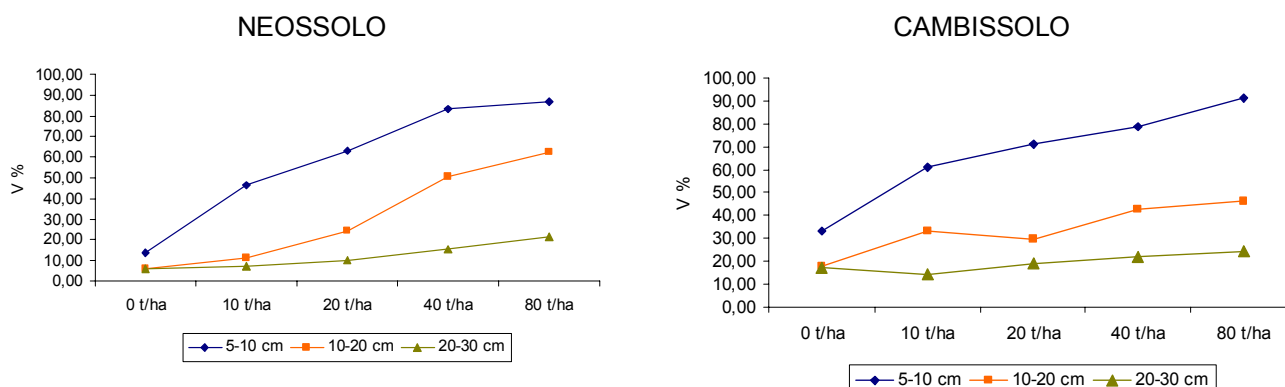
Na TABELA 25 e no GRÁFICO 21 são apresentados os resultados para a saturação em bases (V%).

TABELA 25 - SATURAÇÃO DE BASES (v%) EM DIFERENTES PROFUNDIDADES, EM DOIS TIPOS DE SOLOS E CINCO TRATAMENTOS COM RESÍDUOS

Tipo de Solo	Camadas (cm)	TRAT - t/ha				
		0	10	20	40	80
NEOSSOLO	C1	13,52	46,69	63,21	83,33	86,62
	C2	5,71	11,12	24,18	50,39	62,55
	C3	5,99	7,41	10,11	15,49	21,35
CAMBISSOLO	C1	33,09	61,07	70,90	78,79	90,98
	C2	17,89	32,92	29,39	42,39	46,06
	C3	17,39	14,25	18,87	22,00	24,31

NOTA: *C1: 0-10 cm; C2: 10-20 cm; C3: 20-30 cm

GRÁFICO 21 - VARIAÇÃO DA SATURAÇÃO EM BASES (V%), EM DOIS TIPOS DE SOLOS, COM APLICAÇÃO DE DIFERENTES DOSES DE RESÍDUOS



Os efeitos dos resíduos foram acentuados em relação à saturação em bases, com aumentos nos dois tipos de solos, dosagens, profundidades e tratamentos. Tanto no Neossolo como no Cambissolo, os resultados foram muito superiores em relação à testemunha, com a análise estatística (APÊNDICE 7) indicando diferença significativa de 1%.

Com relação às dosagens, as mesmas proporcionaram ganhos significativos nos percentuais de saturação em bases (V%), com resultados até dez vezes superiores, resultando em diferença significativa (valor $p < 0,01$).

Nas camadas do solo, em ambos os solos, houve maiores diferenças em relação à testemunha na camada C1 (0-10 cm). Na camada seguinte C2 (10-20 cm), em geral, houve aumento nos percentuais, com maior incremento no Neossolo. Na camada inferior C3 (20-30 cm), os aumentos foram maiores no Neossolo.

Belote *et al.* (1998), citam os efeitos da aplicação de resíduos na saturação em bases, com maiores alterações nos 10 cm iniciais, em concordância com os resultados deste trabalho.

Para as camadas do solo, refletindo também nas interações das mesmas com as diferentes dosagens, os resultados foram significativos ao nível de 1%. Não houve resultado estatístico significativo entre solos e camadas, e na interação de solos, doses com camadas.

Ficaram comprovadas as relações entre as diferentes camadas do solo, com os resultados dos contrastes de camadas do solo (camada 1 com camadas 2, e camada 3 e camadas 2 com camada 3), com diferença estatística ao nível de 1% para ambos os solos.

O ponto de máximo de dosagens de resíduos indicado pela análise de regressão ficou entre 65,02 a 80,00 t/ha de resíduos.

O resultado elevado para saturação em bases, obtido da aplicação de resíduos neste experimento, especialmente nas doses mais elevadas, devem merecer atenção, pois para o *Pinus*, a saturação em bases recomendada segundo Ferreira *et al.* (2001), fica em torno de 40 a 50%.

Em algumas situações podem até ser prejudiciais ao *Pinus*, que se adaptam melhor em condições de saturações de bases menores, conforme observou Dedecek (2005).

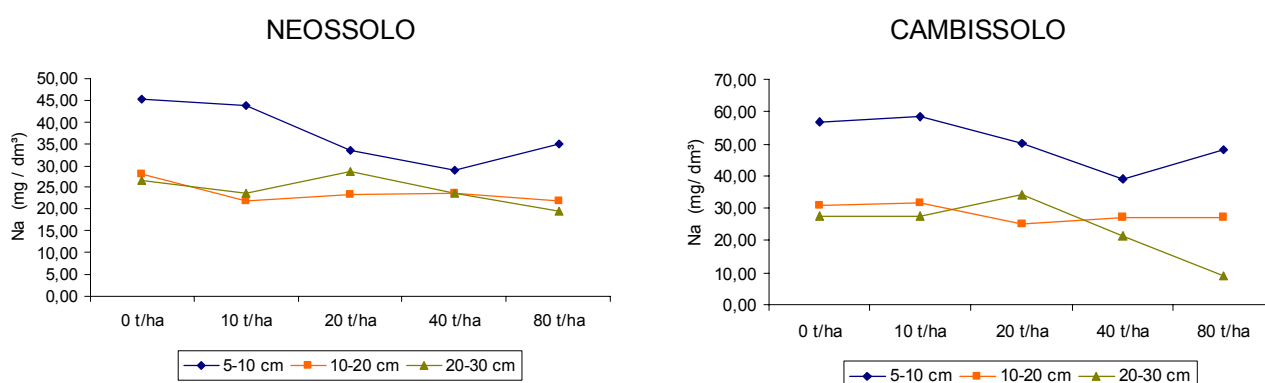
Os teores de sódio (TABELA 26 e GRÁFICO 22) no solo não foram influenciados pela aplicação de resíduos.

TABELA 26 – TEOR DE SÓDIO (mg/dm^3), EM DOIS TIPOS DE SOLOS E CINCO TRATAMENTOS COM RESÍDUOS

Tipo de Solo	Camadas (cm)	TRAT - t/ha				
		0	10	20	40	80
NEOSSOLO	C1	45,33	43,67	33,33	29,00	35,00
	C2	28,00	22,00	23,33	23,67	22,00
	C3	26,67	23,67	28,67	23,67	19,67
CAMBISSOLO	C1	56,67	58,67	50,33	39,00	48,00
	C2	31,00	31,67	25,00	27,00	27,33
	C3	27,67	27,67	34,33	21,33	9,00

NOTA: *C1: 0-10 cm; C2: 10-20 cm; C3: 20-30 cm

GRÁFICO 22– VARIAÇÃO DO TEOR DE SÓDIO (mg/dm^3), EM DOIS TIPOS DE SOLOS, COM APLICAÇÃO DE RESÍDUOS



O acúmulo de sódio no solo pode trazer problemas para sua estrutura, comprometendo a capacidade de infiltração e aeração. Não se confirmaram as observações sobre as altas concentrações do sódio em resíduos da indústria de papel (BELOTE *et al.*, 1998; REZENDE; MATOS; SILVA, 2000).

Os teores existentes naturalmente no solo, representados pelos tratamentos testemunhas, tiveram redução nos dois tipos de solo, em comparação aos tratamentos com resíduos.

A análise estatística (APÊNDICE 7) para os solos, foi significativa ((valor $p < 0,01$). As doses dos resíduos (10, 20, 40 e 80 t/ha) não influenciaram o aumento dos teores de sódio, com diferença significativa (valor $p < 0,01$). Porém, quando interpretamos solos e doses, não houve significância estatística.

Com relação às camadas do solo, os teores decresceram conforme a maior profundidade, nos dois solos, traduzindo em resultado significativo para as camadas (valor $p < 0,01$); bem como para interações de camadas com solos (valor $p < 0,01$); doses e camadas (valor $p < 0,01$) e camadas (valor $p < 0,01$).

Não houve diferença significativa, quando envolvemos na interação os solos, doses e camadas.

Para os dois tipos de solo, os contrastes de camada 1 com camada 2 e camada 3, mostraram o movimento do sódio mais intenso entre as camadas superficiais C1 (0-10 cm) e C2 (10-20 cm), estabelecendo diferença significativa (valor $p < 0,01$).

Este intercâmbio diminui-se na camada inferior (20-30 cm), sem significância para contraste da camada 2 com camada 3, nos dois solos.

Deve-se observar que pelo comportamento do sódio, com facilidade para lixiviação, a irrigação utilizada durante o experimento, pode ter influenciado a percolação.

6 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos neste trabalho permitem-nos enunciar as conclusões que se seguem.

Na análise dos resíduos da fábrica de papel reciclado, os teores observados dos elementos constantes da norma NBR 10004/2004 (ABNT), para a caracterização do material lixiviado, não excederam os limites máximos permitidos pela norma. No material solubilizado os teores de fenóis totais, alumínio, bário, ferro e manganês excederam os limites permitidos pela norma. Com isto, os resíduos foram classificados pela norma NBR 10004/2004 (ABNT), como não perigosos, classe II A, não inerte, exigindo controle e monitoramento ambiental.

Os valores obtidos da análise em base seca dos resíduos para metais pesados: arsênio, bário, cádmio, chumbo, cobre, cromo, mercúrio, molibidênio, níquel, selênio e zinco, não atingiram as concentrações máximas permitidas pela Resolução CONAMA n.º 375 de 29/08/2006

Os resultados em base seca para coliformes termotolerantes, não excederam os limites estabelecidos pela Resolução CONAMA n.º 375/2006.

Os resíduos de papel reciclado, na forma de descarte, apresentaram alta relação carbono/nitrogênio (C/N), pH alcalino, com baixos teores de nutrientes como fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre.

A análise da água de percolação dos resíduos nos dois solos estudados – Neossolo e Cambissolo, observando-se os parâmetros para águas destinadas ao consumo humano (TABELA 1, CLASSE II) da Resolução CONAMA n.º 357 / 2005, permitem-nos as seguintes conclusões:

- a) Os teores de alumínio e manganês foram superiores aos valores máximos permitidos;
- b) Os teores de bário e chumbo não excederam os limites permitidos;
- c) Os teores de nitrogênio amoniacal, nitratos, nitritos, ortofosfatos e surfactantes, foram inferiores aos limites da legislação;
- d) Os teores de ferro também foram considerados como excedente nos teores;
- e) Não ficou comprovado o aumento nos teores de fenóis e cromo, pela aplicação dos resíduos;

Os teores de sódio na água de percolação dos resíduos não excederam os limites tolerados.

Os parâmetros analisados de desenvolvimento de *Pinus taeda* L. sob aplicação de resíduos, ou seja, o incremento em alturas das mudas, incremento em diâmetro do colo das mudas e biomassa seca, não sofreram diminuição em comparação com a testemunha até a aplicação de 20 t/ha de resíduos, no Neossolo e Cambissolo.

A aplicação dos resíduos de papel reciclado alterou as propriedades químicas dos solos Neossolo e Cambissolo, obtendo-se as seguintes conclusões:

- a) houve aumento de pH do solo, com maior incremento nas camadas superficiais (0-10 cm);
- b) os teores de alumínio sofreram diminuição nas três camadas de solo (0-10; 10-20 e 20-30 cm);
- c) a acidez potencial foi reduzida nas três camadas de solo, com maior redução nas camadas de 0-10 e 10-20 cm;
- d) os níveis de cálcio cresceram nos solos, principalmente nas camadas de 0-10 e 10-20 cm;
- e) ocorreu aumento nos teores de magnésio nos solos, com maior teor na camada profunda de 20-30 cm para o Neossolo e aumento na camada de 0-10 e 10-20 cm para o Cambissolo;
- f) as dosagens crescentes não resultaram no aumento da matéria orgânica, com decréscimo nas doses de 40 e 80 t/ha;
- g) os resultados dos teores de potássio mostraram pequeno acréscimo nas camadas inferiores até a dose de 40 t/ha de resíduos;
- h) as doses crescentes de resíduos proporcionaram aumento dos teores de fósforo nas camadas superficiais (0-10 cm);
- i) houve aumento na saturação em bases (V%) nas três camadas de solo (0-10; 10-20 e 20-30 cm);
- j) não houve aumento dos teores de sódio no solo em função da aplicação de resíduos.

7 RECOMENDAÇÕES

Recomenda-se que em outros experimentos deste tipo em casa de vegetação, haja a realização de maior número de repetições, para se melhorar a análise estatística e também a prevenção de perdas, seja de plantas ou problemas com resultados laboratoriais.

Para os elementos que apresentaram concentrações superiores às permitidas pela legislação (alumínio, ferro e manganês), sugere-se o monitoramento do tratamento de água na estação de tratamento de efluentes e de todo o processo industrial.

No caso do alumínio, a utilização de corretivos pode eliminar este problema, seja na aplicação direta no campo, ou em processos de compostagem.

Sugere-se também a realização de pré-compostagem dos resíduos antes da utilização nas florestas, a fim de melhorar a qualidade como fertilizante, melhorando pela redução da relação C/N e aumento da disponibilidade de nutrientes.

Para a caracterização da classe do resíduo e tipo de lodo (A ou B), recomenda-se a realização completa das análises da concentração de patógenos constante da Resolução CONAMA n°. 375/2006, caso de *Salmonella* e vírus que não foram analisados neste trabalho.

No uso do resíduo estudado deve-se realizar complementação com adubo potássico, pelos baixos teores observados do nutriente no resíduo.

Os teores de metais e outros elementos presentes nos resíduos podem sofrer variações de acordo com a matéria-prima utilizada e tecnologias de fabricação empregadas. Torna-se importante o monitoramento constante da produção dos resíduos, principalmente dos teores dos metais e outros elementos com capacidade de causar poluição.

Para a aplicação de resíduos em solos florestais, devem-se desenvolver métodos operacionais para a aplicação do produto, que recém saído da estação de tratamento de efluentes possui alto teor de umidade. Isto dificulta todas as operações pela baixa base seca do produto.

A retirada de água do resíduo pode ser feita por processo de prensagem ou outros métodos.

Diminuindo-se a umidade do resíduo, pode estudar-se alternativas de aplicação mecanizada, com possibilidade de utilizar máquinas semelhantes às distribuidoras de calcário agrícola ou outros equipamentos distribuidores de adubos e corretivos.

Não temos dados de rendimento médio dos serviços da aplicação manual de resíduos, porém não se deve esperar alta produtividade nesta operação, pela dificuldade de manuseio e as quantidades altas a serem aplicadas.

Em experimentos no campo (FIGURA 13), com áreas menores, é possível a aplicação manual dos resíduos, conforme as fotos seguintes, mostrando instalação de experimento de campo em plantações de *Pinus taeda L.*



FIGURA 13 – EXPERIMENTO DE CAMPO COM APLICAÇÃO MANUAL DE RESÍDUOS DE FÁBRICA DE PAPEL RECILADO, EM PLANTAÇÕES DE *Pinus taeda L.* (RIO NEGRINHO - SC)

Nas aplicações de campo é importante o cumprimento da legislação vigente, em especial a resolução CONAMA n.º 375/2006, bem como a consulta aos órgãos ambientais.

As perspectivas para o uso de resíduos em plantações florestais são promissoras, pelos próprios resultados do atual trabalho e de inúmeros outros experimentos já relatados, obtendo-se bons resultados em florestas com aplicação de vários tipos de resíduos.

Nos experimentos de campo, as avaliações deverão ser feitas com prazo suficiente para avaliar as diferenças causadas pela aplicação de resíduos, normalmente de longo prazo, Como exemplo, cita-se Rodrigues (2004), com resultados obtidos após 07 anos após da aplicação inicial de resíduos celulósicos.

A indicação das dosagens ideais para os resíduos serão mais bem definidas neste tipo de experimento no campo.

Importante o acompanhamento das modificações na biologia do solo, dos organismos micro e macroscópicos responsáveis pela decomposição dos resíduos, bem como as alterações das qualidades física do solo. Sugere-se também monitoramento da qualidade da água nos cursos de água próximos aos locais de aplicação de resíduos.

Em hipótese nenhuma deve- se utilizar áreas florestais como simples locais de descarte de resíduos em substituição aos aterros industriais, mas como alternativa segura e fonte de nutrientes, capaz de melhorar as condições do solo que recebeu o produto, com doses adequadas e sem causar poluição, obtendo-se incrementos nos rendimentos florestais, principalmente a produção de madeira.

REFERÊNCIAS

ALABURDA, J.; NISHIHARA, L. Presença de nitrogênio em águas de poços. **Revista da Saúde Pública**, São Paulo, v. 32, n. 32, p. 160-165, abr. 1998.

ANDRADE, C.A.; MATIAZZO, M.E. nitratos e metais pesados no solo e nas árvores após aplicação de bio sólido (lodo de esgoto) em plantações de *Eucalyptus grandis*. **Scientia Florestalis**, Piracicaba, n. 58, p. 59-72, dez. 2000.

ANDRADE, G.C.; SILVA, H.D. da; BELOTTE, A.F.J.; FERREIRA, C.A. Efeitos da adubação e da aplicação de resíduo de celulose no crescimento de *Eucalyptus dunnii*. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 47, p. 43-54, jul. / dez. 2003.

ANDREOLI, C.V.; DOMASK, S.; FERNANDES, F.; LARA, A.I. Proposta preliminar de regulamentação para a reciclagem agrícola do lodo de esgoto no Paraná. **Sanare**, Curitiba, v.7, n.11, p. 53-60, 1997a.

ANDREOLI, C.V.; FERNANDES, F.; LARA, A.I.; BONET, B.; DOMASZAK, S. A reciclagem Agrícola de Lodo de esgoto no Estado do Paraná. In: WORKSHOP SUL-AMERICANO SOBRE USOS ALTERNATIVOS DE RESÍDUOS DE ORIGEM FLORESTAL E URBANA. **Anais...** Curitiba: Sépia, 1997b. p. 83-104.

ANDREOLI, C.V.; HOPPENS, C.; PEGORINI, E.S.; DALARMINI, O. A crise de Água e os Mananciais de Abastecimento. In: ANDREOLI, C.V. **Mananciais de abastecimento: planejamento e gestão. estudo de caso do altíssimo Iguaçu**. Curitiba: SANEPAR / FINEP, 2003. p. 33-82.

ANDREOLI, C. V.; PEGORINI, E. S. Gestão de bio sólidos: situação e perspectivas. In: SEMINÁRIO SOBRE GERENCIAMENTO DE BIOSSÓLIDOS DO MERCOSUL, 1., 1998, Curitiba. **Anais...** Curitiba: SANEPAR / ABES, 1998. p. 11-18.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL (BRACELPA). **Desempenho do setor em 2006 e Projeção para 2007**. São Paulo, 2006. Disponível em: <http://www.bracelpa.org.br/br/anual/perfil_setor2006.pdf>. Acesso em: 26 fev. 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL (BRACELPA). **Papéis para fins sanitários**. São Paulo, BRACELPA, 2007. Disponível em: <http://www.bracelpa.org.br/bra/estatisticas/pdf/anual/papel_04.pdf>. Acesso em: 30 maio. 2007

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 10004:** Resíduos Sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, 2004. 71 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 10005:** Lixiviação de Resíduos – Procedimento. Rio de Janeiro, 2004b. 16 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 10006:** Solubilização de Resíduos – Procedimento. Rio de Janeiro, 2004c. 21 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **Nota Técnica Utilização de Resíduos Sólido ABNT NBR 10004:2004.** Disponível em <<http://www.abnt.org.br/NOTATECNICACONSOLIDADOFINAL.pdf>>. Acesso em: 30 nov. 2006

ASSOCIAÇÃO EMPRESARIAL DE RIO NEGRINHO (ACIRNE). **Aspectos Geográficos e Localização Geográfica Rio Negrinho.** Disponível em: <<http://www.acirne.org.br/geogm.html>> Acesso em: 27 fev. 2007.

BABBIT, H.E.; DOLAND, J.D.; CLEASBY, J.L. **Abastecimento de água.** São Paulo: E. Blücher, 1967. 592 p.

BAIARD, C. **Química ambiental.** 2. ed. Porto Alegre: Bookmann, 2002. 622 p.

BALBINOT JUNIOR, A.A.; TORRES, A.N.L.; FONSECA, J.A. da.; TEIXEIRA, J.R.; NESI, C.N. Alteração em características químicas de um solo ácido pela aplicação de calcário e resíduos de reciclagem de papel. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v.5, n.1, p. 16-25, 2006.

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO SOCIAL E ECONÔMICO (BNDES). **A Atividade de Reciclagem de Papel no Brasil.** 2006. Disponível em: <<http://www.bndes.gov.br/conhecimento/seminario/florestal17.pdf>>. Acesso em: 30 maio 2007.

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO SOCIAL E ECONÔMICO (BNDES). **Produtos Florestais – Papéis para Fins Sanitários.** Fev. 2002.. Disponível em: <<http://www.bndes.gov.br/conhecimento/setorial/tissue99.pdf>>. Acesso em: 10 nov. 2006.

BASTOS, R.K.X., BEVILACQUA, P.D., NASCIMENTO, L.E. et al. Coliformes como indicadores da qualidade da água. Alcance e limitações. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 27., 2000, Porto Alegre: AIDIS. **Anais...** Rio de Janeiro: ABES, 2000. Disponível em: <<http://www.ingenieroambiental.com/newinformes/coliformes.pdf>>. Acesso em: 13 dez. 2006.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução n. 357, de 17 de março de 2005. **Diário Oficial República Federativa (da) do Brasil**. Brasília, DF, 18 mar. 2005. Seção 1, p. 58-63.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução n. 375, de 30 de agosto de 2006. **Diário Oficial República Federativa (da) do Brasil**. Brasília, DF, 30 ago. 2006. Seção 1, p.141-146.

BEEN, F.R.; MCAULIFE, C.A. **Química e poluição**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1981. 134 p.

BELLOTE, A.F.J.; SILVA, H.D. da. Cultivo do Pinus – Adubação. **Sistemas de produção**. EMBRAPA. Novembro. 2005. Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML>L/Pinus/CultivodoPinus/09_adubacao.html>. Acesso em: 10 nov. 2006.

BELLOTE, A.F.J.; SILVA, H.D. da; FERREIRA, C.A.; ANDRADE, G.C. Resíduos da indústria de celulose em plantios florestais. **Boletim de Pesquisa Florestal**. Colombo, n. 37, p. 99-106, jul. / dez. 1998.

BERTOL, O.J.; **Contaminação da Água de Escoamento Superficial e da Água Percolada pelo Efeito de Adubação Mineral e Adubação Orgânica em Sistema de Semeadura Direta**. 209 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

BERTOL, O.J.; RIZZI, N.E.; FAVARETTO, N.; LAVORANTI, O.J. Perdas de Nitrogênio via Superfície e Subsuperfície em Semeadura Direta. **Revista Floresta**. Curitiba, v. 35, n. 3, p.429-442, 2005.

BOLLMANN, H.A. CARNEIRO, C. PEGORINI, E.S. Qualidade da Água e Dinâmica de Nutrientes. In: ANDREOLI, C.V. **Gestão integrada de mananciais de abastecimento eutrofizados** . Curitiba: SANEPAR, 2005. p. 213-269.

BUCKMAN, H.; BRADY, N.C. **Natureza e propriedade dos solos**. 5. ed. Rio de Janeiro: F. Bastos, 1979. 647 p.

BUGAGER, S. **Celulose e Papel - tecnologia de fabricação do papel**. 1988. Apostila.

CALDEIRA, M.V.W.; TONINI, H.; HOPPE, J.M.; WATZLAWICK, L.F.; SELLE, G.L. Definição de sítios em povoamentos de *Pinus elliottii* Engelm. na região de Encruzilhada da Sul, RS. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 6, n. 1, p.1-13, 1996.

CALDEIRA, M.V.W.; SHUMACHER, M.V.; TEDESCO, N. Crescimento de mudas de *Acácia meamsii* em função de diferentes doses de vermicomposto. **Scientia Florestalis**, Piracicaba, n. 57, p. 161-170, jun. 2000.

CAMPREGER, N. **Estudo da viabilidade da Incorporação do Lodo da Estação de Tratamento de Efluentes da Indústria de Papel, Celulose e Aparas em Material Cerâmico**. 73 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2005.

CARDOSO, L.M.N.; CHASIN, A.A.M. Ecotoxicologia do cádmio e seus compostos. **Cadernos de Referência Ambiental**, Salvador, v. 6, 122 p. 2001.

CARNEIRO, C.; PEGORINI, E.S.; ANDREOLI, C.V. Introdução. In: ANDREOLI, C.V.; CARNEIRO, C. **Gestão integrada de mananciais de abastecimento eutrofizados**. Curitiba: SANEPAR, 2005. p. 27- 46.

CARPANEZZI, A. A.; PEREIRA, J. C. D.; CARVALHO, P. E. R.; REIS, A.; VIEIRA, A. R. R.; ROTTA, E.; STURION, J. A.; RAUEN, M. J.; SILVEIRA, R. A. **Zoneamento ecológico para plantios florestais no Estado de Santa Catarina**. Curitiba: Embrapa/Cnpf, 1988. v. 1.

CARVALHO, J.G.; CASTRO, H.A.; YAMADA, I.; SPELTZ, G.E. Nutrição mineral de *Pinus*. In: HAAG, H.P. **Nutrição mineral de *Eucalyptus*, *Pinus*, *Araucaria* e *Gmelina* no Brasil**. Campinas: Fundação Cargil, 1983. p.71- 134.

CARVALHO, P.de C.de T.; CARVALHO, F.J.P.de C. Legislação Sobre Biossólidos. O uso agrícola do biossólido e as propriedades do solo. In: TSUTIYA, M.T.; COMPARINI, J.B.; SOBRINHO, P.A.; HESPANHOL, I.; CARVALHO, P.C.T.; MELFI, A.J. MELO, W.J. E MARQUES, M.O. **Biossólidos na agricultura**. 2. ed. São Paulo: ABES, 2002. p. 209-226.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB). **Aplicação de lodos de sistemas de tratamento biológico em áreas agrícolas – critérios para projeto e operação**: manual técnico, São Paulo: CETESB, 1999. 32p.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB). **Variáveis de Qualidade das Águas**. 2006. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/Agua/rios/variaveis.asp>>. Acesso em: 11 dez. 2006

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO. **Manual de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 10. ed. Porto Alegre: SBCS - Núcleo Regional Sul, 2004. 400 p.

COMPANHIA PERNAMBUCANA DO MEIO AMBIENTE (CPRH). **Roteiro complementar de licenciamento e fiscalização**: Indústria de Papel e Celulose. Recife: CPRH, 1988. 95 p.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA (CNI). **Gerenciamento de resíduos em complexos integrados de papel e celulose**. Rio de Janeiro: CNI, 1989. 40 p.

COSTA, A.S.V. da; GALVÃO, E.R.; LOVO, I.C. FERRARI JUNIOR, M.J.; ALMEIDA, L.L.; BENEVIDES, G. Efeitos do resíduo de celulose nas características dos solos e no desenvolvimento de culturas agrícolas. In: CONGRESSO ANUAL DE CELULOSE E PAPEL, 35. São Paulo. **Anais** ... São Paulo: ABTCP, 2002. Disponível em: ><http://www.celuloseonline.com.br/imagembank/Docs/DocBank/dc/dc008.pdf><. Acesso em: 30 maio. 2007.

COSTA, A.S.V. da; RIBEIRO, J.M.O.; GALVÃO, E.R.; LOVO, I.C. FERRARI JUNIOR, M.J. Efeitos do resíduo de celulose incorporado ao solo no desenvolvimento das plantas de milho (*Zea mays*) e Feijão (*Phaseolus vulgaris*). In: CONGRESSO ANUAL DE CELULOSE E PAPEL, 34. São Paulo, 2001. **Anais**... São Paulo: ABTCP, 2001. Disponível em ><http://www.celuloseonline.com.br/imagembank/Docs/DocBank/dc/dc319.pdf><. Acesso em: 30 maio. 2007.

CRISPILHO, F.N.; SANTANA, C.G.; REZENDE, M.O.O. Tratamento de Efluente da Indústria de Processamento de Coco Utilizando Eletroflotação. **QUÍMICA NOVA**, São Paulo. Vol. 27, n. 3, p. 387-392, 2004.

DEDECEK, R. Adequação de Áreas Agrícolas para o Plantio de *Pinus taeda*. **Comunicado Técnico**, Colombo. n. 12, 3 p., 2005.

DRAPER, N.R.; SMITH, H. **Applied regression analysis**. 3. ed. New York: J.Wiley, 1998. 707 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, 1999. 412 p.

FAILLACE, S. **Uma Leitura da Indústria de Papel e Celulose no Brasil Sob a Perspectiva da Sustentabilidade Norte – Sul**. Rio de Janeiro, 1996. Disponível em: <http://www.brasilsustentavel.org.br/textos/texto9.rtd>>. Acesso em: 5 jun. 2006.

FAUSTINO, R.; KATO, M.T.; FLORÊNCIO, L.; GAVAZZA, S. Lodo de esgoto como substrato para mudas de *Senna siamea Lam*. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.9, p. 278-282, 2005.

FERREIRA, C.A.; SILVA, H.D. da; REISSMANN, C.B.; BELLOTE, A.F.J.; MARQUES, R. Nutrição de *Pinus* no sul do Brasil: - Diagnóstico e prioridades de pesquisa. **Série Documentos**, Colombo, n. 60, p. 1-23, nov. 2001.

FERREIRA, A. C.; ANDREOLI, C. V.; PEGORINI, E. S.; CARNEIRO, C. Efeito de diferentes dosagens de lodo de esgoto e fertilização química sobre a disponibilidade de fósforo no solo.. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIENCIA DO SOLO. **Anais....** Londrina, 2001b.

FERREIRA, C.A.; SILVA, H.D. da; BELLOTE, A.F.J.; DEDECEK, R.; ANDRADE, G.C.; FERRARI, M.P. Pesquisas sobre nutrição de *Pinus* no sul do Brasil. **Revista da Madeira**. Curitiba, n. 63, ano 14, p.72-78, ago. 2004. Edição Especial.

FIALHO, M.L. **"O Papel Reciclado" uma análise de aspectos sociais e ambientais**. Florianópolis, 1996. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Universidade Federal de Santa Catarina. Disponível em: < <http://www.eps.ufsc.br/disserta96/mirian/index/index.htm> >. Acesso em: 05 jun. 2007.

FONSECA, J.A.V.M.; BARBOSA, M.; OLIVEIRA, N.; SALAN, R.S.; DRAGONI SOBRINHO, G.; BRITO, N.N.; CONEGLIAN, C.M.R.; TONSO, S.; PELEGRINI, R. Tratamento de efluentes líquidos de indústria de papel e celulose. In: FÓRUM DE ESTUDOS CONTÁBEIS, 3. Rio Claro, 2003. **Anais...** Rio Claro: Centro Superior de Educação Tecnológica (CESET), 2003. p.1-9.

GLÓRIA, N.A. DA. Uso agrônômico de resíduos. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 22, Piracicaba. **Anais...** Campinas: Fundação Cargill , 1992. p 195-212.

GONÇALVES, J.L.M. Propriedades físico-químicas dos solos vs. exigências nutricionais de espécies florestais de rápido crescimento. **Circular técnica**. Piracicaba, n. 154, p. 1-12, jan. 1988.

GONÇALVES, J. L. M. Recomendações de adubação para *Eucalyptus*, *Pinus* e espécies típicas da Mata Atlântica. **Documentos Florestais**, Piracicaba, v. 15, p. 1-23, 1995.

GRIECO, V.M. **Tratamento de efluentes líquidos**. São Paulo: ABTCP, 1994. 81 p.

GUEDES, M.C.; ANDRADE, C.A.; POGGIANI, F.; MATTIAZZO, M.E. Propriedades Químicas do Solo e Nutrição do Eucalipto em Função da Aplicação de Lodo de Esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 2, p. 267-280. 2006.

GUERRA, R.C. **Caracterização e Biodegradação de Lodo de Esgoto de Estações de Tratamento de Água para Descarte em Aterro Sanitário**. 88 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas) - Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2005.

GUILHERME, L.R.G.; MARCHI, G. **Os metais pesados no solo**. Disponível em: <<http://www.anda.org.br/portug/artigos/MetaisPesados.pdf>>. Acesso em 15 dez. 2006.

HARRISON, R.B.; GUERRINI, I.A.; HENRY, C.L.; COLE, D.W. Reciclagem de resíduos industriais e urbanos em áreas de reflorestamento. **Circular técnica**, Piracicaba, n. 198, p. 1-20, jul., 2003.

INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ (IAPAR). Levantamento de reconhecimento dos solos do centro-sul do Estado do Paraná. **Boletim Técnico**. Curitiba, n.11, p. 33-34. 1979.

INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ (IAPAR). **Cartas climáticas do Paraná**. 2000. Disponível em: >http://www.iapar.br/Sma/Cartas_Climáticas/Cartas_Climaticas.html>. Acesso em: 27 fev. 2007.

INSTITUTO AMBIENTAL DO PARANÁ (IAP). **Utilização de lodo agrícola de ETE**. Curitiba, 2003. 45 p.

INSTITUTO AMBIENTAL DO PARANÁ (IAP). **Monitoramento da qualidade das águas dos rios da região Metropolitana de Curitiba no período 1992 a 2005**. Curitiba, 2005.

INSTITUTO DE PESQUISAS E ESTUDOS FLORESTAL (IPEF). Resíduos da Fabricação de Papel Podem ser Aproveitados na Construção Civil. **IPEF NOTÍCIAS**, Piracicaba, n. 24, p.5, maio./ jun., 2000.

KIEHL, E.J. **Manual de edafologia**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1979. 262 p.

KIEHL, E.J. **Fertilizantes orgânicos**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1985. 492 p.

KINJO, T.; SILVEIRA, R.I.; MARCOS, Z.Z.; ABRAHÃO, L.O. Efeito da aplicação de Efluente de Celulose junto com Fosofogesso na correção da Acidez do Solo. **Scientia Florestalis**, Piracicaba. n. 49, p. 129-135, 1992.

LA TORRACA, S.M.; HAAG, H.P.; MIGLIORINI, A.J. Recrutamento e exportação de nutrientes por *Pinus elliottii* var. *elliottii* em um latossolo vermelho escuro na região de Agudos, SP. **IPEF**, Piracicaba, n.27, p. 41-47, ago.1984.

LASO, L.S. TORRES, T. Estado Nutricional de *Pinus eliotti Engelm* em Dunas Arenosas Sobre El Rio Uruguay. **Revista Floresta**. Curitiba, 1986, p-39-47.

LEITÃO, T.E.; FERREIRA, J.L. OLIVEIRA, M.M. MOINANTE, M.J. Poluição de Águas Subterrâneas: Principais Problemas, Processos de Prevenção e de Reabilitação. In: SIMPÓSIO DE HIDRÁULICA E RECURSOS HÍDRICOS DOS PAÍSES DE LÍNGUA OFICIAL PORTUGUESA, 6, Cabo Verde, 2003. **Anais...** Disponível em: <http://www.dha.lnec.pt/nas/pdf/LUSBA%20Cabo%20Verde_%202003%07%2024.pdf>. Acesso em: 20 dez. 2006.

LEITE, E.T. MACEDO, A.R. **Papéis para fins sanitários**. Rio de Janeiro, 1996. Disponível em: <<http://www.finame.com.br/conhecimento/bnset/sanit.pdf>>. Acesso em: 20 dez. 2006.

LENNTECH. **Bário**. 2006. Disponível em: <<http://www.lenntech.com/espanol/tabla-periodica/Ba.html>>. Acesso em 20 dez. 2006.

LIMA, I.V. DE; PEDROZO, M. DE F.M. Ecotoxicologia do ferro e seus compostos. **Cadernos de Referência Ambiental**, Salvador, v.4, 112 p, 2001.

MACÊDO, J.A.B. **Águas e águas**. 2 ed. Belo Horizonte: CRQ-MG, 2004. 976 p.

MACHADO, C.C.; PIRES, J.M.M.; PEREIRA, R.S.; FONTES, M.P.F.; LIMA, D.C. de; Comportamento Químico e Ambiental de Resíduos Sólidos em Pavimentos de Estradas Florestais. **Scientia Florestalis**, Piracicaba. n. 70, p. 131-136, abr. 2006.

MALAVOLTA, E. **Manual de Química Agrícola Nutrição de Plantas e Fertilidade do Solo**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1976. 528 p.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980, 251 p.

MALAVOLTA, E. **Manual de química agrícola adubos e adubação**. 3 ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 1981, 596 p.

MANSOR, M.T.C. **Potencial de poluição da águas superficiais por fontes não pontuais de fósforo na bacia hidrográfica do Ribeirão do Pinhal, Limeira – SP**. 318 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

MARTINS, I; LIMA, I.V. Ecotoxicologia do manganês e seus Compostos. **Cadernos de Referência Ambiental**, Salvador, v.7, 121 p., 2001.

MATTOS, R.L.G.; VALENÇA, A.C.de V. A Reestruturação do Setor de Celulose e Papel. **BNDES setorial**, Rio de Janeiro, n.10, p. 253-268, set. 1999.

MAZZER, C.; CAVALCANTI, O.A. Introdução à gestão de resíduos. **Infarma**. Brasília, v.16, n. 11-12, 2004.

MELFI, A.J. e MONTES, C.R. Impacto dos biossólidos sobre o solo. In: TSUTIYA, M.T.; COMPARINI, J.B.; SOBRINHO, P.A.; HESPANHOL, I.; CARVALHO, P.C.T.; MELFI, A.J. MELO, W.J.; MARQUES, M.O. **Biossólidos na agricultura**. 2. ed. São Paulo: ABES, 2002. p. 243-271.

MELO, V.P. de; BEUTLER, A.N.; SOUZA, Z.M.; CENTURION, J.F.; MELO, W.J. de. Atributos físicos de Latossolos adubados durante cinco anos com biossólido. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n.1, p. 67-72, 2004.

MELO, W. J. de; MARQUES, M. O.; MELO, V. P. de. O uso agrícola do bio-sólido e as propriedades do solo. In: TSUTIYA, M.T.; COMPARINI, J.B.; SOBRINHO, P.A.; HESPANHOL, I.; CARVALHO, P.C.T.; MELFI, A.J. MELO, W.J.; MARQUES, M.O. **Bio-sólidos na agricultura**. 2. ed. São Paulo: ABES, p. 289-359. 2002.

MERTEN, G.H. MINELLA, J.P. Qualidade das Águas em Bacias hidrográficas Rurais; um Desafio Atual para a Sobrevivência Futura. **Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável**, Porto Alegre, v.3, n. 4, out.dez, p.33-38, 2002.

MOLINA, M.V. MATTIAZZO, M.E. ANDRADE, C.A.de.;POGGIANI, F. Nitrogênio e metais pesados no solo e em árvores de eucalipto decorrentes da aplicação de bio-sólido em plantio florestal. **Scientia Florestalis**, Piracicaba. n. 71, p. 25-35. ago. 2006.

MONTGOMERY, D.C. **Design and analysis of experiments**. 3. ed. New York: J.Wiley, 1991. 649 p.

MORO, L.; GONÇALVES, J.L.M. Efeitos da “Cinza”de biomassa Florestal sobre a produtividade de Povoamentos Puros de *Eucalyptus grandis* e Avaliação Financeira. **IPEF**, Piracicaba, n. 48/49, p.18-27, jan./dez. 1995.

MORO, L. **Exportação de nutrientes em povoamentos de *Pinus Taeda* L. baseada em volume estimado pelo sistema Sispinus**. 114 f. Tese (Doutorado Ciências Florestais) – Setor de Ciências agrárias. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

MUNIZ, P.J. C. da; BALDANZI, G.; PELLICO NETTO, S. de. Ensaio de adubação em *Pinus elliottii* e *Pinus taeda* no sul do Brasil. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 6, n. 1, p. 5-13, 1975.

NOLASCO, A. M. Aproveitamento do resíduo da indústria de papel na produção de produtos cerâmicos para a construção civil. **O Papel**, São Paulo, v. 61, n. 5, p. 31-31, 2000.

NOLASCO, A.M.; GUERRINI, I.A.; BENEDETTI, V. Uso de resíduos urbanos e industriais como fonte de nutrientes e condicionadores de solos florestais. Aspectos nutricionais de plantios de *Pinus*. In: GONÇALVES, J.L.M.; BENEDETTI, V. **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2005. p. 386 – 414.

OLIVEIRA, S.; PASQUAL, A. Avaliação de parâmetros indicadores de poluição por efluente líquido de um aterro sanitário. **Engenharia Sanitária Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 9, n.3, p. 240-249, 2004.

PAGLIA, E.C. **Lodo de Esgoto Alcalinizado Associado a Doses de Potássio, na Lixiviação Iônica**. 57 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Setor de Ciências agrárias. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

PEDROZO, M. F.M.; LIMA, I.V. DE. Ecotoxicologia do cobre e seus compostos. **Cadernos de Referência Ambiental**, Salvador, v.2, 2001. 128 p.

PERECIN, L. Reciclar é Preciso. **O Papel**, São Paulo, v. 66, n° 10, p. 56-64, out. 2005.

PEREIRA, J. A. **Geração de resíduos industriais e controle ambiental**. Universidade Federal do Pará. Belém, 2002. Disponível em: <http://www.desenvolvimento.gov.br/arquivo/sti/publicacoes/futAmaD.dades/rev20011213_01.pdf> Acesso em: 25 de fev. 2007.

PIERANGELI, M.A.P.; GUILHERME, L.R.G.; CURI, N. SILVA, M.L.N.; LIMA, J.M.; COSTA, E.T. de S. Efeito do pH na adsorção e dessorção de cádmio em latossolos brasileiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 29, p. 523-532, 2005.

PIRES, A.M.M. **Ácidos orgânicos da rizosfera: aspectos qualitativos e quantitativos e fitodisponibilidade de metais pesados originários de bio sólidos**. 94 f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo. Piracicaba. 2003.

PIRES, A.M.M., MATTIAZZO, M.E. BERTO, R.S.; GUILHERME, L.R.G.; MARCHI, G. Extração de metais pesados fitodisponíveis em solos tratados com lodo de esgoto: uso de ácidos orgânicos. **Comunicado Técnico**, Jaguaraiúna. n. 28, Jul. 2005.

PRADO, R.M.; JULIATTI, M.A. lixiviação de cádmio em profundidade em coluna com latossolo vermelho e nitossolo. **Revista de Agricultura**, Piracicaba, v.78, n. 2, p. 219-228. 2003.

RAIJ, B.V. **Avaliação de fertilidade do solo**. Piracicaba: Instituto da Potassa e Fosfato, 1981. 142 p.

REISSMANN, C.B. Exigências nutricionais nos plantios de *Pinus*. Ed. Especial: *Pinus*, uma alternativa de mercado. **Rev. da Madeira**, Curitiba, v. 12, n. 68, dez., 2002.

REISSMANN, C.B.; WISNIEWSKI, C. Aspectos nutricionais de plantios de *Pinus*. In: GONÇALVES, J.L.M.; BENEDETTI, V. **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2005. p. 135-165.

REZENDE, A. A. P. ; MATOS, A.T. de ; SILVA, C. M. . Uso do Efluente da Indústria de Papel e Celulose na Irrigação. **Saneamento Ambiental**. Viçosa, n. 1, p. 32-40, 2000.

REZENDE, C. I. O. **Influência da aplicação do lodo de esgoto (biossólido) sobre a concentração e o estoque de nutrientes na biomassa do sub-bosque, na serapilheira e no solo de um talhão de *Eucalyptus grandis***. 81 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia Aplicada) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

RIGATTO, P.A.; DEDECEK, R.A.; MATTOS, J.L. M. Influência dos atributos do solo sobre a produtividade e a qualidade da madeira de *Pinus taeda*. **Revista Árvore**. Viçosa, v.29, n.5, p.701-709, 2005.

RIZZI, N.E. Diretrizes para o Planejamento Hidrológico. in: ANDREOLI, C.V. **Mananciais de abastecimento: planejamento e gestão. estudo de caso do altíssimo Iguaçu**. Curitiba: SANEPAR / FINEP, 2003. p. 459-494.

ROCHA, A.A.; PEREIRA, D.N.; PÁDUA, H.B. Produtos de Pesca e Contaminantes Químicos na Água da Represa Billings, São Paulo (Brasil). **Revista da Saúde Pública**, São Paulo, n.19, p. 401 - 410. 1985.

ROCHA, J.C.; ROSA, A.H.; CARDOSO, A.A. **Introdução a Química Ambiental**. Porto Alegre: Bookmann, 2004. 154 p.

ROCHA, G. N.; GONCALVES, J. L. M.; MOURA, I. M.. Mudanças da fertilidade do solo e crescimento de um povoamento de *Eucalyptus grandis* fertilizado com biossólido. **Revista brasileira de ciência do solo**. Viçosa, v. 28, n. 4, p. 623-639, 2004.

RODRIGUES, C.M. **Efeito da Aplicação de resíduos da Indústria de Papel e Celulose nos Atributos Químicos, Físicos e Biológicos do Solo, na Nutrição e Biomassa de *Pinus taeda* L.** 109 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Setor de Ciências agrárias. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

RODRIGUES, T.A.R.N.; ARRUDA, R.S.; SOARES, C.F.; MACHADO, I.; ARNALDO, L. Produtividade de Milho e de Feijão Consorciados Adubados com Diferentes Formas de Lodo de Esgoto. **Revista de la Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal**. Temuco, v.6 n.1, p. 52-63, 2006.

ROMERA E SILVA, P.A., AZEVEDO, F.Z., ALVAREZ, J.E.S. e LEIS, W.M.S.V. **Água: quem vive sem?**. 2 ed. São Paulo: FCTH/CTHidro (ANA,CNPq/SNRH). 2003. 136p.

SECCHI, G.A.R.; CASIRAGHI, K.F. **Resíduo do processo de fabricação de papel reciclado – potencial de uso como insumo agrícola e/ou florestal**. 53 f. Monografia (Graduação em Ciências Biológicas) - Universidade Paranaense, Cascavel, 2004.

SILVA, C.S.; PEDROZO, M. DE F. Ecotoxicologia do cromo e seus compostos. **Cadernos de Referência Ambiental**, Salvador, v.5. 2001. 100 p.

SILVA, P. H. M. da. **Produção de madeira, ciclagem de nutrientes e fertilidade do solo em plantios de *Eucalyptus grandis*, após aplicação de lodo de esgoto**. 117 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2006.

SIMÕES, W.J. Reflorestamento e Manejo de Florestas Implantadas. In: SIMPÓSIO SOBRE PINUS: FONTE DE RESINA E CARVÃO VEGETAL. Campinas, 1981. **Anais...** Campinas: Fundação Tropical de Pesquisas e Tecnologia, p.12-36. 1981.

SISINNO, C.L.S. Disposição em Aterros Controlados de Resíduos Sólidos Industriais não-inertes: Avaliação dos Componentes Tóxicos e Implicações para o Ambiente e para a Saúde Humana. **Caderno de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 19. n. 2, p. 369-374, mar. /abr. 2003.

SOUZA, F.A. de; GUERRA, J.G.M. Emprego da técnica do número mais provável (NMP) no estudo de populações de fungos micorrízicos arbusculares (FMAs). **Circular técnica**, Seropédica, n. 2, 34 p.1998.

STAPPE, J.L.; BALLONI, E.A. O uso de resíduos da Indústria de celulose como Insumos na Produção Florestal. **Circular Técnica**, Piracicaba, n. 40, p. 33-37, dez. 1988.

STELL, R.G.D.; TORRIE, J.H. **Principles and Procedures of Statistics: a Biometrical Approach**. New York: Mc-Graw, 1981. 33 p.

TAUK, S.M. Biodegradação de Resíduos Orgânicos no Solo. **Revista brasileira de geociência**, São Paulo, v. 20, n.1-4. p. 299-301. 1990.

TOCCHETTO, M.R.L. **Gerenciamento de resíduos sólidos**. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2005. 97 p.

TRIGUEIRO, R.M. G. Uso de Biossólido como Substrato para Produção de Mudanças de eucalipto. **Scientia Florestalis**, Piracicaba, n. 64, p. 150-162. dez. 2003.

TSUTIYA, M.T. Características de Biossólidos Gerados em Estações de Tratamento de Esgotos. In: TSUTIYA, M.T.; COMPARINI, J.B.; SOBRINHO, P.A.; HESPANHOL, I.; CARVALHO, P.C.T.; MELFI, A.J. MELO, W.J.; MARQUES, M.O. **Biossólidos na agricultura**. 2. ed. São Paulo: ABES, 2002. p. 89-131.

TSUTIYA, M.T. **Limites de Metais Pesados em Biossólidos para Uso Agrícola Proposta para a Regulamentação Federal e Estadual**. Disponível em: <http://www.aesabesp.com.br/encontro_exemplo_2006.pdf>. Acesso em: 20 Dez. 2006.

Utilização de Reciclado. **Celulose On Line**. Disponível em: <<http://www.celuloseonline.com.br/pagina/pagina.asp?iditem=3779>>. Acesso em: 20 Nov. 2006.

VALERI, S. V. **Exportação de biomassa e nutrientes de povoamentos de *Pinus taeda* L. desbastados em diferentes idades**. 164 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 1988.

VILLA, A.T. **Avaliação ambiental de qualidade da água do lago do Parque Bariigüi: potencial de poluição orgânica**. 123 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) – Setor de Tecnologia. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2005.

VOGEL, H.L.M.; SCHUMACHER, M.V.; STORK, L.; WTSCHORECK, R. Crescimento inicial de *Pinus taeda* L. Relacionado a Doses de N, P e K. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 15, n. 2, p.199-206, 2005.

YABE, M.J.S.; GIMENEZ, S.M.N.; BISINOTI, C.; PAES, M. A.A.; LOBO, R.R.; FIGUEIREDO, E.S. Influência de fenóis da bacia do Rio Tibagi. In: Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química, 23. 2000, Poços de Caldas. **Anais...** Disponível em: <<http://www.sbq.org.br/ranteriores/23/resumos/1260/index.html>>. Acesso em: 12 mar. 2007.

ZANTA, V.M. ; FERREIRA, C. F. A. . Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos urbanos. In: BORGES, A.C., et al. **Resíduos sólidos urbanos: aterro sustentável para municípios de pequeno porte**. São Carlos: Rima Artes e Textos, 2003. p. 1-18.

APÊNDICES

APÊNDICE 1 - CONTRASTE DE MÉDIAS DO PH_ CaCl_2 E ALUMÍNIO (Al), EM DOIS TIPOS DE SOLOS, COM APLICAÇÃO DE RESÍDUOS	129
APÊNDICE 2 - CONTRASTE DE MÉDIAS DA ACIDEZ POTENCIAL , EM DOIS TIPOS DE SOLOS, COM APLICAÇÃO DE RESÍDUOS	130
APÊNDICE 3 - CONTRASTE DE MÉDIAS DE CÁLCIO (Ca) E MAGNÉSIO (Mg), EM DOIS TIPOS DE SOLOS, COM APLICAÇÃO DE RESÍDUOS.....	131
APÊNDICE 4 - CONTRASTE DE MÉDIAS DE CÁLCIO + MAGNÉSIO (Ca + Mg), EM CINCO TRATAMENTOS COM RESÍDUOS, EM DOIS TIPOS DE SOLOS	132
APÊNDICE 5 - CONTRASTE DE MÉDIAS DE CARBONO (C), EM DOIS TIPOS DE SOLOS, COM APLICAÇÃO DE RESÍDUOS	133
APÊNDICE 6 - CONTRASTE DE MÉDIAS DE POTÁSSIO (k) E FÓSFORO (P), EM DOIS TIPOS DE SOLOS, COM APLICAÇÃO DE RESÍDUOS	134
APÊNDICE 7 - CONTRASTE DE MÉDIAS DE SATURAÇÃO EM BASES (V%) E SÓDIO (Na) E, EM DOIS TIPOS DE SOLOS, COM APLICAÇÃO DE RESÍDUOS	135

APÊNDICE 1 - CONTRASTE DE MÉDIAS DO PH_CaCl₂ E ALUMÍNIO (Al), EM DOIS TIPOS DE SOLOS, COM APLICAÇÃO DE RESÍDUOS

PH CaCl ₂									
Trat t/ ha	Neossolo			Cambissolo			Contraste		
	C1	C2	C3	C1	C2	C3	C1 vs C2, C3	C2 vs C3	
0	3,96	3,84	3,81	4,07	3,85	3,81	<0,0001	0,3643	
10	4,86	3,99	3,84	4,71	4,17	3,81	<0,0001	0,104	
20	5,37	4,27	3,88	5,07	4,06	3,89	<0,0001	0,0085	
40	6,29	5,13	4,03	6,43	4,21	3,92	<0,0001	0,001	
80	6,73	5,41	3,9	6,85	4,4	4,3	<0,0001	0,0008	
Solos (S)							0,0117		
Doses (D)							<0,0001		
Camada (C)							<0,0001		
SxD							0,1691		
SxC							0,0045		
DxC							<0,0001		
SxDxC							0,0028		
Contraste									
C1 vs C2, C3		<0,0001			<0,0001				
C2 vs C3		<0,0001			0,0018				
Regressão de doses									
Linear	<0,0001	0,0002	0,2309	<0,0001	0,0262	0,0032			
Quadrática	<0,0001	0,0005	0,0556	<0,0001	0,0819	0,0153			
Cúbica	<0,0001	0,0011	0,0701	<0,0001	0,1579	0,0466			
Ponto Mínimo t/ha	0	0	-	0	0	0			
Ponto Máximo t/ha	76,33	65,09	-	65,59	80	80			

Alumínio (Al)									
Trat t/ ha	Neossolo			Cambissolo			Contraste		
	C1	C2	C3	C1	C2	C3	C1 vs C2, C3	C2 vs C3	
0	1,956	2,396	2,573	2,636	3,816	4,22	<0,0001	0,1557	
10	0,223	1,833	2,743	0,546	2,45	3,983	0,0001	0,0295	
20	0,133	1,226	2,353	0,163	2,223	3,196	<0,0001	0,0048	
40	0	0,323	2,42	0	1,58	2,776	<0,0001	<0,0001	
80	0	0,12	2,756	0	1,213	3,063	<0,0001	<0,0001	
Solos (S)							<0,0001		
Doses (D)							<0,0001		
Camada (C)							<0,0001		
SxD							0,2014		
SxC							0,0062		
DxC							0,0001		
SxDxC							0,7835		
Contraste									
C1 vs C2, C3		<0,0001			<0,0001				
C2 vs C3		<0,0001			0,0018				
Regressão de doses									
Linear	0,0186	<0,0001	0,7187	0,0115	0,0096	0,0141			
Quadrática	0,0004	<0,0001	0,6282	0,0001	0,0117	0,001			
Cúbica	<0,0001	<0,0001	0,8153	<0,0001	0,0291	0,0041			
Ponto Mínimo t/ha	80	63,77	80	80	0	0			
Ponto Máximo t/ha	0	0	0	0	0	0			

NOTA: *Camadas do solo: C1: 0-10 cm; C2: 10-20 cm; C3: 20-30 cm

Observações: Se valor $p < 0,01$: significativo a 1% de probabilidade pelo teste F

Se valor $p < 0,05$: significativo a 5% de probabilidade pelo teste F

APÊNDICE 2 - CONTRASTE DE MÉDIAS DA ACIDEZ POTENCIAL, EM DOIS TIPOS DE SOLOS, COM APLICAÇÃO DE RESÍDUOS

Acidez Potencial								
Trat t/ ha	Neossolo			Cambissolo			Contraste	
	C1	C2	C3	C1	C2	C3	C1 vs C2, C3	C2 vs C3
0	13,59	14,95	14,986	11,86	12,66	13,5	0,0025	0,289
10	7,85	13,38	14,833	7,78	11,176	13,426	<0,0001	0,0487
20	5,286	11,876	14,44	5,873	10,986	12,443	<0,0001	0,0252
40	2,766	7,816	12,51	5,806	7,773	12,183	0,0037	0,0307
80	2,24	5,46	10,73	2,183	9,676	11,333	<0,0001	0,0005
Solos (S)			0,4823					
Doses (D)			<0,0001					
Camada (C)			<0,0001					
SxD			0,0301					
SxC			0,3997					
DxC			0,0003					
SxDxC			0,368					
Contraste								
C1 vs C2, C3		<0,0001			<0,0001			
C2 vs C3		<0,0001				0,0134		
Regressão de doses								
Linear	0,0002	<0,0001	0,0002	0,0015	0,1388	0,0044		
Quadrática	<0,0001	<0,0001	0,0012	0,004	0,0882	0,0168		
Cúbica	<0,0001	<0,0001	0,0037	0,0048	0,1632	0,0502		
Ponto Mínimo t/ha	42,22	68,74	71,55	80,00	-	80,00		
Ponto Máximo t/ha	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		

NOTA: *Camadas do solo: C1: 0-10 cm; C2: 10-20 cm; C3: 20-30 cm

Observações: Se valor $p < 0,01$: significativo a 1% de probabilidade pelo teste F

Se valor $p < 0,05$: significativo a 5% de probabilidade pelo teste F

APÊNDICE 3 - CONTRASTE DE MÉDIAS DE CÁLCIO (Ca) E MAGNÉSIO (Mg),
EM DOIS TIPOS DE SOLOS, COM APLICAÇÃO DE RESÍDUOS

Cálcio (Ca)								
Trat t/ ha	Neossolo			Cambissolo			Contraste	
	C1	C2	C3	C1	C2	C3	C1 vs C2, C3	C2 vs C3
0	1,266	0,516	0,523	3,700	1,600	1,130	<0,0001	0,0528
10	5,713	1,013	0,636	10,336	4,346	1,093	<0,0001	0,1060
20	8,273	2,590	0,700	12,310	2,950	1,366	<0,0001	0,0025
40	12,273	6,203	1,123	15,696	2,913	1,496	<0,0001	<0,0001
80	12,576	7,646	1,333	18,333	5,750	2,226	<0,0001	<0,0001
Solos (S)							<0,0001	
Doses (D)							<0,0001	
Camada (C)							<0,0001	
SxD							<0,0001	
SxC							0,0013	
DxC							<0,0001	
SxDxC							0,0011	
Contraste								
C1 vs C2, C3	<0,0001			<0,0001				
C2 vs C3	<0,0001			<0,0001				
Regressão de doses								
Linear	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0531	0,0069		
Quadrática	<0,0001	<0,0001	0,0003	<0,0001	0,1537	0,0276		
Cúbica	<0,0001	<0,0001	0,0009	<0,0001	0,1474	0,0767		
Ponto Mínimo t/ha	0,00	0,00	0,00	0,00	-	0,00		
Ponto Máximo t/ha	60,45	65,47	67,54	65,92	0,00	80,00		

Magnésio (Mg)								
Trat t/ ha	Neossolo			Cambissolo			Contraste	
	C1	C2	C3	C1	C2	C3	C1 vs C2, C3	C2 vs C3
0	0,530	0,210	0,106	1,723	0,906	1,356	0,1018	0,5909
10	0,743	0,510	0,183	1,156	1,260	0,790	0,0992	0,0378
20	0,493	0,950	0,426	1,280	1,423	1,023	0,6245	0,0132
40	1,003	1,320	0,693	2,566	1,393	1,490	0,0956	0,4735
80	1,093	1,230	1,253	2,130	2,250	1,093	0,6898	0,2198
Solos (S)							<0,0001	
Doses (D)							<0,0001	
Camada (C)							0,0085	
SxD							0,6736	
SxC							0,2720	
DxC							0,5283	
SxDxC							0,3049	
Contraste								
C1 vs C2, C3	0,4673			0,0310				
C2 vs C3	0,0253			0,2292				
Regressão de doses								
Linear	0,0293	0,0065	0,0005	0,1209	0,033	0,887		
Quadrática	0,0979	0,0013	0,0028	0,2661	0,113	0,942		
Cúbica	0,1755	0,0052	0,0108	0,0537	0,203	0,410		
Ponto Mínimo t/ha	0,00	0,00	0,00	-	-	0,00		
Ponto Máximo t/ha	80,00	57,45	80,00	-	80,00	-		

NOTA: *Camadas do solo: C1: 0-10 cm; C2: 10-20 cm; C3: 20-30 cm

Observações: Se valor $p < 0,01$: significativo a 1% de probabilidade pelo teste F

Se valor $p < 0,05$: significativo a 5% de probabilidade pelo teste F

APÊNDICE 4 - CONTRASTE DE MÉDIAS DE CÁLCIO + MAGNÉSIO (Ca + Mg),
EM CINCO TRATAMENTOS COM RESÍDUOS, EM DOIS TIPOS DE SOLOS

Cálcio + Magnésio (Ca + Mg)								
Trat t/ ha	Neossolo			Cambissolo			Contraste	
	C1	C2	C3	C1	C2	C3	C1 vs C2, C3	C2 vs C3
0	1,7960	0,7260	0,6300	5,4230	2,5060	2,4860	<0,0001	0,8370
10	6,4560	1,5230	0,8200	11,4930	5,6060	1,8830	<0,0001	0,0840
20	8,7660	3,5400	1,1260	13,5900	4,3730	2,3900	<0,0001	0,0016
40	13,2760	7,5230	1,8160	18,2630	4,3060	2,9860	<0,0001	<0,0001
80	13,6700	8,8760	2,5860	20,4630	8,0000	3,3200	<0,0001	<0,0001
Solos (S)							<0,0001	
Doses (D)							<0,0001	
Camada (C)							<0,0001	
SxD							0,0610	
SxC							<0,0001	
DxC							<0,0001	
SxDxC							0,0015	
Contraste								
C1 vs C2, C3		<0,0001			<0,0001			
C2 vs C3		<0,0001			0,0001			
Regressão de doses								
Linear	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0215	0,0262		
Quadrática	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0734	0,0935		
Cúbica	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0743	0,1012		
Ponto Mínimo t/ha	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
Ponto Máximo t/ha	63,54	64,97	76,03	66,26	80,00	80,00		

NOTA: *Camadas do solo: C1: 0-10 cm; C2: 10-20 cm; C3: 20-30 cm

Observações: Se valor $p < 0,01$: significativo a 1% de probabilidade pelo teste F

Se valor $p < 0,05$: significativo a 5% de probabilidade pelo teste F

APÊNDICE 5 - CONTRASTE DE MÉDIAS DE CARBONO (C), EM DOIS TIPOS DE SOLOS, COM APLICAÇÃO DE RESÍDUOS

Carbono (C)								
Trat t/ ha	Neossolo			Cambissolo			Contraste	
	C1	C2	C3	C1	C2	C3	C1 vs C2, C3	C2 vs C3
0	27,2230	26,1460	23,6760	35,7100	33,1400	34,0600	0,0356	0,4862
10	26,4930	23,3360	23,1660	37,1930	34,8660	33,4130	<0,0001	0,2059
20	22,4400	22,2300	21,5800	36,3730	34,3860	32,7860	0,0287	0,1705
40	24,1560	21,8160	23,2560	35,9330	33,5260	33,8000	0,0472	0,4155
80	24,2830	22,8800	19,9830	36,3460	33,0500	33,3200	0,0005	0,1013
Solos (S)			<0,0001					
Doses (D)			0,0012					
Camada (C)			<0,0001					
SxD			0,0037					
SxC			0,5053					
DxC			0,5324					
SxDxC			0,3048					
Contraste								
C1 vs C2, C3		<0,0001			<0,0001			
C2 vs C3		0,0995			0,5531			
Regressão de doses								
Linear	0,1188	0,1272	0,0433	0,9691	0,4457	0,6516		
Quadrática	0,0201	0,0061	0,1267	0,9974	0,6115	0,778		
Cúbica	0,0212	0,0092	0,1356	0,8129	0,278	0,5093		
Ponto Mínimo t/ha	28,30	48,51	80,00	-	-	-		
Ponto Máximo t/ha	0,00	0,00	0,00	-	-	-		

NOTA: *Camadas do solo: C1: 0-10 cm; C2: 10-20 cm; C3: 20-30 cm

Observações: Se valor $p < 0,01$: significativo a 1% de probabilidade pelo teste F

Se valor $p < 0,05$: significativo a 5% de probabilidade pelo teste F

APÊNDICE 6 - CONTRASTE DE MÉDIAS DE POTÁSSIO (K) E FÓSFORO (P),
EM DOIS TIPOS DE SOLOS, COM APLICAÇÃO DE RESÍDUOS

Potássio (K)									
Trat t/ ha	Neossolo			Cambissolo			Contraste		
	C1	C2	C3	C1	C2	C3	C1 vs C2, C3	C2 vs C3	
0	0,0860	0,0600	0,2000	0,1400	0,0860	0,2300	0,2380	0,0000	
10	0,0860	0,0430	0,2530	0,1330	0,0830	0,2160	0,1710	0,0000	
20	0,0830	0,0360	0,3230	0,1160	0,0660	0,3030	0,1180	0,0010	
40	0,0860	0,0630	0,3760	0,1400	0,0900	0,3900	<0,0001	<0,0001	
80	0,0960	0,0460	0,1830	0,1500	0,0930	0,2700	0,4460	0,0010	
Solos (S)							0,0183		
Doses (D)							0,0476		
Camada (C)							<0,0001		
SxD							0,7945		
SxC							0,5920		
DxC							0,00115		
SxDxC							0,9771		
Contraste									
C1 vs C2, C3		<0,0036						0,0101	
C2 vs C3		<0,0001						0,0001	
Regressão de doses									
Linear	0,1242	0,8905	0,782	0,229	0,2786	0,4114			
Quadrática	0,1979	0,9899	0,0782	0,2872	0,4201	0,0938			
Cúbica	0,3744	0,0045	0,1768	0,2552	0,2817	0,1283			
Ponto Mínimo t/ha	-	16,25	-	-	-	-			
Ponto Máximo t/ha	-	60,34	-	-	-	-			

Fósforo (P)									
Trat t/ ha	Neossolo			Cambissolo			Contraste		
	C1	C2	C3	C1	C2	C3	C1 vs C2, C3	C2 vs C3	
0	5,7660	3,4000	2,7330	10,1660	6,0660	4,8000	<0,0001	0,1141	
10	6,5330	3,2700	2,7000	12,6330	6,6000	5,1300	<0,0001	0,1678	
20	9,4000	4,4330	3,8000	8,2000	4,5660	4,2330	<0,0001	0,4536	
40	10,3660	4,6000	2,5660	13,1330	5,1330	3,5000	<0,0001	0,0503	
80	16,1330	6,6660	3,7330	16,6000	6,7000	2,0330	<0,0001	0,0010	
Solos (S)							<0,0001		
Doses (D)							<0,0001		
Camada (C)							<0,0001		
SxD							<0,0001		
SxC							0,0283		
DxC							<0,0001		
SxDxC							0,3425		
Contraste									
C1 vs C2, C3									
C2 vs C3									
Regressão de doses									
Linear	<0,0001	0,0008	0,1006	0,0027	0,6090	0,0003			
Quadrática	<0,0001	0,0046	0,2497	0,0080	0,1866	0,0017			
Cúbica	<0,0001	0,0160	0,0522	0,0211	0,3597	0,0058			
Ponto Mínimo t/ha	0,00	8,10	-	12,75	-	0,00			
Ponto Máximo t/ha	80,00	80,00	-	78,00	-	80,00			

NOTA: *Camadas do solo: C1: 0-10 cm; C2: 10-20 cm; C3: 20-30 cm

Observações: Se valor p < 0,01: significativo a 1% de probabilidade pelo teste F

Se valor p < 0,05: significativo a 5% de probabilidade pelo teste F

APÊNDICE 7 - CONSTRASTE DE MÉDIAS DE SATURAÇÃO EM BASES (V%)
E SÓDIO (Na), EM DOIS TIPOS DE SOLOS, COM APLICAÇÃO
DE RESÍDUOS

Saturação em Bases (V%)									
Trat t/ ha	Neossolo			Cambissolo			Contraste		
	C1	C2	C3	C1	C2	C3	C1 vs C2, C3	C2 vs C3	
0	13,5160	5,7130	5,9900	33,0930	17,8930	17,3860	<0,0001	0,9444	
10	46,6930	11,1230	7,4060	61,0700	32,9160	14,2500	<0,0001	0,0815	
20	63,2100	24,1800	10,1100	70,9000	29,3900	18,8700	<0,0001	0,0022	
40	83,3300	50,3860	15,4830	78,7830	42,3900	22,0030	<0,0001	0,0014	
80	86,6230	62,5500	21,3500	90,9730	46,0630	24,3060	<0,0001	<0,0001	
Solos (S)				0,0005					
Doses (D)				<0,0001					
Camada (C)				<0,0001					
SxD				0,0012					
SxC				0,3831					
DxC				<0,0001					
SxDxC				0,2157					
Contraste									
C1 vs C2, C3		<0,0001			<0,0001				
C2 vs C3		<0,0001			0,0004				
Regressão de doses									
Linear	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0002	0,0237	0,0048			
Quadrática	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0517	0,0207			
Cúbica	<0,0001	<0,0001	0,0001	<0,0001	0,1282	0,0323			
Ponto Mínimo t/ha	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,16			
Ponto Máximo t/ha	80,00	66,25	75,15	65,02	69,21	65,16			

Sódio (Na)									
Trat t/ ha	Neossolo			Cambissolo			Contraste		
	C1	C2	C3	C1	C2	C3	C1 vs C2, C3	C2 vs C3	
0	45,333	28,000	26,666	56,666	31,000	4,800	<0,0001	0,2939	
10	43,666	22,000	23,666	58,666	31,666	27,666	<0,0001	0,7098	
20	33,333	23,333	28,666	50,333	25,000	34,333	0,0038	0,1306	
40	29,000	23,666	23,666	39,000	27,000	21,333	<0,0001	0,1763	
80	35,000	22,000	19,666	48,000	27,333	9,000	<0,0001	0,0053	
Solos (S)				<0,0001					
Doses (D)				<0,0001					
Camada (C)				<0,0001					
SxD				0,2508					
SxC				<0,0001					
DxC				0,0001					
SxDxC				0,5439					
Contraste									
C1 vs C2, C3		<0,0001			<0,0001				
C2 vs C3		0,6261			0,0767				
Regressão de doses									
Linear	0,0345	0,1397	0,0682	0,0729	0,3147	0,0044			
Quadrática	0,0001	0,2214	0,1705	0,0156	0,3119	0,0106			
Cúbica	0,0006	0,1028	0,3272	0,0113	0,5047	0,0204			
Ponto Mínimo t/ha	53,55	-	-	57,98	-	14,63			
Ponto Máximo t/ha	0,00	-	-	3,54	-	72,98			

NOTA: *Camadas do solo: C1: 0-10 cm; C2: 10-20 cm; C3: 20-30 cm

Observações: Se valor $p < 0,01$: significativo a 1% de probabilidade pelo teste F

Se valor $p < 0,05$: significativo a 5% de probabilidade pelo teste F

ANEXOS

ANEXO 1 - CONCENTRAÇÃO MÁXIMA DE METAIS PESADOS NOS LODOS AGRÍCOLAS EM DIVERSOS PAÍSES	137
ANEXO 2 - TAXA MÁXIMA DE APLICAÇÃO ANUAL DE METAIS PESADOS EM SOLOS TRATADOS COM LODOS EM DIVERSOS PAÍSES	137
ANEXO 3 - CARGA MÁXIMA ACUMULADA DE METAIS PELA APLICAÇÃO DE LODO EM SOLOS AGRÍCOLAS EM DIVERSOS PAÍSES	138
ANEXO 4 - LIMITES MÁXIMOS DE METAIS PESADOS PARA USO AGRÍCOLA DE BIOSÓLIDOS NOS ESTADOS UNIDOS	138

ANEXO 1 – CONCENTRAÇÃO MÁXIMA DE METAIS PESADOS NOS LODOS AGRÍCOLAS EM DIVERSOS PAÍSES

País/ Região	Ano	Concentração máxima de metais de lodo (base seca) mg/ /kg						
		Cd	Cu	Cr	Ni	Pb	Zn	Hg
União Européia	1986	20-40	1000-1750	1000-1750	300-400	750-1200	2500-4000	16-25
França	1988	20	1000	1000	200	800	3000	10
Alemanha	1982	20	1200	1200	200	1200	3000	25
	1992	10	800	900	200	900	2500	8
Espanha	1990	20	1000	1000	300	750	2500	16
Dinamarca	1990	1,2	1000	100	45	120	4000	1,2
	1995	0,8	1000	100	30	120	4000	0,8
Finlândia	1995	1,5	600	300	100	100	1500	1
Noruega		4	1000	125	80	100	1500	5
Suécia	1995	2	600	100	50	100	800	2,5
EUA	1993	39-85	1500-4300	1200-3000	420-420	300-480	2800-7500	17-57
Nova Zelândia	1992	15	1000	1000	200	600	2000	10
Reino Unido	1989	3,5	225	600	125	300	500	1,5
Austrália	1991	8	1200	500	100	300	1800	7,5
Itália	1992	20	1000		300	750	2500	10
Luxemburgo	1992	40	1750	1750	400	1200	4000	25
Países Baixos	1995	1,25	75	75	30	100	300	0,75
Canadá	1984	20			180	500	1850	5

FONTE: ANDREOLI *et al.* (1997a.), citando diversos autores

ANEXO 2 - TAXA MÁXIMA DE APLICAÇÃO ANUAL DE METAIS PESADOS EM SOLOS TRATADOS COM LODOS EM DIVERSOS PAÍSES

País/ Região	Ano	Taxa máxima de aplicação anual (kg ha ⁻¹ . ano ⁻¹)						
		Cd	Cu	Cr	Ni	Pb	Zn	Hg
Noruega	1995	0,0025	0,15	0,15	0,6	0,2	0,6	0,0015
Suécia	1985	0,002	0,6	0,1	0,05	0,1	0,8	0,0025
Dinamarca	1995	0,008	10	1	0,3	1,2	40	0,008
Países Baixos	1989	0,0025	0,15	-	0,076	0,45	0,6	0,0015
Espanha	1990	0,15	12	3	3	15	30	0,1
Finlândia	1995	0,0015	0,6	0,3	0,1	0,1	1,5	0,001
França	1988	0,15	12	4,5	3	15	30	0,1
Alemanha	1986	0,15	6	-	1	6	15	0,125
Reino Unido	1989	0,15	7,5	-	3	15	15	0,1
EUA	1995	1,9	7,5	-	21	15	140	0,85
União Européia	1986	0,15	12	-	3	15	30	0,1

FONTE: CHANG *et al.*¹(2002) *apud* TSUTIYA (2006)

¹ CHANG, A. C. et al. **Developing Human Health-related Chemical Guidelines for Reclaimed Water and Sewage Sludge Applications in Agriculture**. World Health Organization. May, 2002.

ANEXO 3 - CARGA MÁXIMA ACUMULADA DE METAIS PELA APLICAÇÃO DE LODO EM SOLOS AGRÍCOLAS EM DIVERSOS PAÍSES

País/ Região	Ano	Carga máxima de acumulada de metais (kg ha ⁻¹)						
		Cd	Cu	Cr	Ni	Pb	Zn	Hg
Noruega	1995	1,4	60	60	20	60	200	1,8
Suécia	1985	0,4	40	-	-	40	100	0,8
Dinamarca	1990	0,4	40	-	-	40	100	0,8
Países Baixos	1989	1,25	75	75	38	225	300	0,75
Espanha	1990	1,4	60	60	20	60	200	1,8
Canadá	1987	2,6	140	248	72	86	326	0,6
China	1996	1,2	200	-	120	700	600	-
Japão	1988	5,4	160	-	110	560	560	-
França	1988	3,4	160	160	60	160	500	1,8
Alemanha	1992	2,4	80	60	60	160	300	1,8
Reino Unido	1989	5,4	230	660	110	560	500	1,8
EUA	1995	39	1500	-	420	300	2800	-

FONTE: CHANG *et al.*¹(2002) *apud* TSUTIYA (2006)

NOTA: adaptado pelo autor

ANEXO 4 - LIMITES MÁXIMOS DE METAIS PESADOS PARA USO AGRÍCOLA DE BIODSÓLIDOS NOS ESTADOS UNIDOS

Metal	Concentrado de poluentes no biossólido (mg. kg ⁻¹ base seca)		Carga máxima de poluentes	
	Máximo permissível	Excepcional Qualidade	Acumulada no solo (kg. ha ⁻¹)	Aplicação anual (kg. ha ⁻¹ .ano ⁻¹)
Arsênio	75	41	41	2
Cádmio	85	39	39	1,9
Cobre	4300	1500	1500	75
Chumbo	840	300	300	15
Mercúrio	57	17	17	0,85
Molibdênio	75	-	-	-
Níquel	420	420	420	21
Selênio	100	100	100	5
Zinco	7500	2800	2800	140

FONTE: TSUTIYA (2006)

¹ CHANG, A. C. et al. **Developing Human Health-related Chemical Guidelines for Reclaimed Water and Sewage Sludge Applications in Agriculture.** World Health Organization. May, 2002.