

**LILIAN ALVES DE MARCO**

**AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DO RESÍDUO DE RECICLAGEM DE PAPEL NO  
PROCESSO PRODUTIVO DA CULTURA DO MILHO**

**JOINVILLE-SC**

**2011**

**LILIAN ALVES DE MARCO**

**AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DO RESÍDUO DE RECICLAGEM DE PAPEL NO  
PROCESSO PRODUTIVO DA CULTURA DO MILHO**

Dissertação apresentada para  
obtenção do título de mestre em  
Engenharia de Processos na  
Universidade da Região de  
Joinville- UNIVILLE.

Orientadora: Dra. Therezinha M. N.  
de Oliveira  
Coorientador: Dr. Alvadi Balbinot  
Junior

**JOINVILLE-SC**

**2011**

## Termo de Aprovação


### “Avaliação da Influência do Resíduo de Reciclagem de Papel no Processo Produtivo da Cultura do Milho”


por

Lilian Alves de Marco

Dissertação julgada para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Processos, área de concentração Engenharia de Processos e Tecnologias Limpas e aprovada em sua forma final pelo Programa de Mestrado em Engenharia de Processos.

  
 Prof. Dra. Therezinha Maria Novais de Oliveira  
 Orientadora (UNIVILLE)

  
 Prof. Dr. Alvadi Antonio Balbinot Junior  
 Co-Orientador (EMBRAPA)

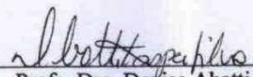
  
 Prof. Dra. Elisabeth Wisbeck  
 Coordenadora do Programa de Mestrado em Engenharia de Processos (UNIVILLE)

#### Banca Examinadora:

  
 Prof. Dra. Therezinha Maria Novais de Oliveira  
 Orientadora (UNIVILLE)

Prof. Dr. Alvadi Antonio Balbinot Junior  
 Co-Orientador (EMBRAPA)

  
 Prof. Dra. Mônica Aparecida Aguiar dos Santos  
 (UFSC)

  
 Prof. Dra. Denise Abatti Kasper Silva  
 (UNIVILLE)

Joinville, 23 de setembro de 2011.

## **Agradecimentos**

À Deus que sempre ilumina meu caminho.

À minha orientadora Dra. Therezinha Maria Novais de Oliveira pela confiança em meu trabalho, pela oportunidade de aprendizado e principalmente por sua amizade.

À Dr. Alvadi Antonio Balbinot Junior, co-orientador, pela confiança em mim depositada e por sua presteza durante todo o tempo de realização dos trabalhos.

Ao meu grande amigo Epitágoras Rodson Oliveira Costa, responsável direto pela viabilização do projeto de pesquisa, pelo apoio, colaborações, incentivo em realizar este trabalho e por me nortear neste caminho, agradeço muito por tudo, gosto muito de você.

À Professora Dra. Ana Paula T. Pezzin pela amizade, conversas, e-mails trocados e pelas dúvidas sanadas neste tempo que convivemos.

À empresa CVG – Companhia Volta Grande de Papel, pela parceria e confiança no desenvolvimento do projeto de pesquisa.

À Professora Dra. Mônica A. A. dos Santos pela disposição em fazer parte de minha banca.

Ao meu esposo pela compreensão nos momentos de ausência, pelo apoio, incentivo e principalmente por seu amor.

Aos meus pais, por estarem sempre agregando valores éticos e morais à minha vida, por estarem sempre ao meu lado, por me incentivarem e me apoiarem incondicionalmente nos momentos difíceis.

As minhas amigas Sara e Eveline pelo companheirismo, pelos momentos de alegria, pelo auxílio e estímulo nos momentos difíceis.

A todos que de alguma forma participaram de minha vida e me ajudaram no desenvolvimento de minha vida pessoal e profissional, o meu muito obrigado.

## SUMÁRIO

RESUMO

ABSTRACT

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

[LISTA DE TABELAS](#)

[LISTA DE GRÁFICOS](#)

1. INTRODUÇÃO .....	12
2. OBJETIVOS .....	15
2.1. Objetivo geral .....	15
2.2. Objetivos específicos .....	15
3. REVISÃO DE LITERATURA .....	16
3.1 O setor produtivo de papel e celulose .....	16
3.1.1 Trajetória do setor .....	16
3.1.2 A produção brasileira.....	17
3.1.3 Cadeia produtiva de papel e celulose em Santa Catarina.....	20
3.1.4 Papel reciclado.....	21
<a href="#">3.1.5 Considerações gerais.....</a>	<a href="#">21</a>
<a href="#">3.1.6 Produção de papel reciclado.....</a>	<a href="#">23</a>
3.2 Resíduos sólidos .....	25
3.2.1 Resíduos gerados pelas indústrias de papel e celulose.....	27
3.2.2 Impactos da disposição inadequada dos resíduos sólidos na indústria de celulose e papel .....	28
3.2.3 Resíduos de lodo de estação de esgoto e metais pesados .....	29
3.2.4 Metais pesados em solos .....	31
<a href="#">3.2.5 Reciclagem de resíduos e sustentabilidade.....</a>	<a href="#">32</a>
<a href="#">3.2.6 Uso agrícola em alguns países no mundo.....</a>	<a href="#">34</a>
<a href="#">3.2.7 Uso agrícola no Brasil.....</a>	<a href="#">35</a>
3.3 A cultura do milho e sua importância na cadeia produtiva de alimentos....	38
3.3.1 Necessidades nutricionais da cultura do milho.....	40
3.3.2 Importância dos macronutrientes para as plantas e para o solo.....	41

4. CARACTERIZAÇÃO DO PROCESSO DE RECICLAGEM DE PAPEL DA EMPRESA ESTUDADA.....	43
4.1 A Empresa.....	43
4.2 Processo produtivo.....	44
5 METODOLOGIA.....	48
5.1 Amostragem do resíduo a ser reutilizado.....	48
5.1.2 Tipificação do solo em que o resíduo foi aplicado.....	48
5.2 Delineamento experimental.....	50
5.3 Determinações e avaliações do experimento.....	52
5.3.1 Caracterização do resíduo.....	52
5.3.2 Produtividade e componentes de rendimento de grãos.....	53
5.3.3 Metais pesados nos grãos de milho.....	53
5.3.4 Metais pesados no solo.....	54
5.3.5 Características químicas do solo.....	54
5.3.6 Método de análise de dados.....	55
6. RESULTADOS E DISCUSSAO.....	56
6.1 Características do Resíduo.....	56
6.1.1 Comparação dos níveis máximos de concentração de substancias inorgânicas previstos pela resolução n° 375 do CONAMA e CETESB - SP.....	57
6.2 Efeitos da aplicação do resíduo em relação ao pH do solo.....	58
6.2.1 Teores de alumínio + hidrogênio (Al+ H) e fósforo (P) no solo.....	60
6.2.2 Avaliação dos teores de cálcio (Ca) e relação Ca/Mg no solo.....	61
6.2.3 Avaliação da capacidade de troca de cátions (CTC).....	64
6.2.4 Avaliação dos teores de zinco (Zn) e manganês (Mn).....	65
6.2.5 Avaliação dos teores de Sódio (Na).....	67
6.3 Número de grãos/espiga, massa de grãos e produtividade do milho.....	68
6.4 Níveis de metais pesados no solo.....	70
6.5 Metais pesados nos grãos de milho.....	75
CONCLUSÕES.....	80
RECOMENDAÇÕES.....	82
REFERÊNCIAS.....	83

## RESUMO

A preocupação com o aumento de resíduos urbanos e industriais tem levado ao desenvolvimento de pesquisas, com objetivo de buscar soluções para sua utilização, como, por exemplo, na agricultura. Portanto, a proposta deste trabalho consiste em estudar formas seguras do uso do resíduo de reciclo de papel em áreas agrícolas, definindo seus efeitos sobre o solo, o desenvolvimento de culturas, bem como as doses adequadas para cada tipo de solo. Os resíduos gerados pelas empresas de base florestal são um de seus aspectos mais importantes no que diz respeito às questões ambientais inerentes às suas atividades, pois a manutenção de depósitos de resíduos, ou sua incineração, não são práticas recomendáveis ambientalmente devido aos impactos gerados. Como metodologia foi caracterizado o resíduo (lodo de ETE) de uma Indústria do planalto norte catarinense a qual fabrica papel da linha tissue a partir de papel reciclado, o lodo foi utilizado em experimento conduzido no campo onde se distribuiu as dosagens de 50; 100; 150; 250; 400 e 600 t/ha de resíduo úmido, em adição foi mantido o tratamento padrão para atingir pH 6,0 e o tratamento controle, o experimento foi realizado em três repetições e nestas foram plantadas milho. As avaliações realizadas foram produtividade, componentes de rendimento de grãos, metais pesados nos grãos de milho, metais pesados no solo e as características químicas do solo. Os resultados mostraram que houve aumento no pH do solo em decorrência da aplicação do resíduo de reciclagem de papel, em doses acima de 100 t/ha de resíduo o  $\text{pH}_{\text{água}}$  alcançou valores acima de 5,5. O calcário também elevou o  $\text{pH}_{\text{água}}$  do solo acima de 5,5 e nas maiores doses do resíduo, o  $\text{pH}_{\text{água}}$  do solo não passou de 6,5. Níveis de pH superiores a 6,5 são muito elevados para a cultura do milho. Em  $\text{pH}_{\text{água}}$  próximo à neutralidade, pode haver reduzida atividade microbiana e baixa disponibilidade de alguns micronutrientes, tais como Mn, Fe, Zn e Cu. O  $\text{pH}_{\text{água}}$  do solo adequado para a maioria das culturas anuais se situa na faixa de 5,5 a 6,5. Constatou-se aumento no teor de P até, aproximadamente a dose de 300 t/ha de resíduo úmido. O resíduo afetou significativamente os teores de Ca, em decorrência deste aumento a relação Ca/Mg aumentou linearmente com o incremento das doses de resíduo, atingindo valores próximos a 30. O aumento na dose de resíduo promoveu incremento na saturação da Capacidade de Troca de Cátions (CTC) por bases, até, aproximadamente, 300 t/ha. Houve aumento no teor de Zn com o acréscimo da dose do resíduo, até aproximadamente 400 t/ha, após esta dose, o teor de Zn tendeu a se estabilizar. Ocorreu drástica redução nos teores de Mn no solo após a aplicação do resíduo e também do calcário. Devido à melhoria das condições químicas do solo proporcionada pelo resíduo, houve aumento do número de grãos por espiga até a dose de 275 t/ha; da massa do grão, até a dose de 420 t/ha; e da produtividade de grãos até a dose de 308 t/ha. Após a dose de 308 t/ha houve tendência de redução da produtividade em decorrência, principalmente, da redução da disponibilidade de P e redução do teor de Mn. Verificou-se que a aplicação de resíduo de reciclagem de papel, mesmo nas maiores doses, não afetou os níveis de metais pesados no solo. Nos grãos de milho não houve aumento nos teores de metais pesados (Mercúrio (Hg) e Níquel (Ni) e Cádmiio (Cd) em decorrência da aplicação de resíduo no solo, mesmo considerando as maiores doses. Reflexões sobre as relações entre fertilidade do solo, alternativas sustentáveis e preservação ambiental nos remetem à investigação de uma nova alternativa para diminuir custos na implantação das lavouras, bem como gerar sustentabilidade no meio rural.

**Palavras-chave:** Resíduos, lodo de ETE, papel reciclado, lavouras, meio ambiente, fertilidade do solo.

## ABSTRACT

The concern with increased municipal and industrial waste has led to research in order to find solutions to their use, for example in agriculture. Therefore, the purpose of this study is to explore safe ways of using waste paper recycling in agricultural areas, defining their effects on soil, crop development and the appropriate doses for each type of soil. The waste generated from forest-based companies are one of its most important aspects with regard to environmental issues related to their activity, because the maintenance of landfills, or burning, are not recommended practices environmentally due to the impacts generated. Methodology was characterized as the residue (sludge TEE) of the plateau north of Santa Catarina Industry which manufactures the line tissue paper from recycled paper, it was used in an experiment conducted in the field where they distributed the dosages of 50, 100; 150, 250, 400 and 600 t / ha, in addition to standard treatment was maintained to achieve pH 6.0 and the control treatment, the experiment was conducted in three replicates and these were planted corn. The evaluations were yield, yield components, heavy metals in corn kernels, heavy metals in soil and the soil chemical characteristics. The results showed an increase in soil pH due to application of the waste paper recycling, at doses above 100 t/ha of residue the  $pH_{water}$  reached values above 5.5. Liming also increased the soil above  $pH_{water}$  5.5 and the highest levels of the residual  $pH_{water}$  the soil did not exceed 6.5. PH levels above 6.5 are very high for the corn crop. In  $pH_{water}$  close to neutrality, there may be reduced microbial activity and low availability of some micronutrients such as Mn, Fe, Zn and Cu. The  $pH_{water}$  soil suitable for most annual crops lies in the range of 5.5 and 6.5. It was observed increase in P up to approximately the dose of 300 t / ha of wet residue. The residue significantly affected the Ca as a result of this increase Ca / Mg ratio increased linearly with increasing levels of waste, reaching values close to 30. The increase in the amount of residue promoted increase in saturation of Cation Exchange Capacity (CTC) for bases, up to approximately 300 t / ha. There was increase in zinc concentration with increasing dose of the waste, up to approximately 400 t / ha after this dose, the concentration of Zn tended to stabilizers. Occurred drastic reduction in the Mn in the soil after application and also the residue of the limestone. Due to the improvement of soil chemical conditions provided by the residue, increased the number of grains per spike up to a dose of 275 t / ha; the mass of grain up to a dose of 420 t / ha, and grain yield to dose of 308 t / ha. After a dose of 308 t / ha tended to reduce productivity due mainly to reduced availability of P and reduction of Mn content. It was found that the application of waste paper recycling, even at higher doses, did not affect the levels of heavy metals in soil. Grains of corn there was no increase in levels of heavy metals (Mercury (Hg) and nickel (Ni) and cadmium (Cd), due to the application of residue in the soil, even considering the higher doses. Reflections on the relationship between soil fertility, environmental preservation and sustainable alternatives suggest the investigation of a new alternative to reduce costs in the implementation of crops and create sustainability in rural areas.

Keywords: Waste, WWTP sludge, recycled paper, crops, environment, soil fertility.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01. Distribuição da Produção de Papéis por Regiões.....	19
Figura 02. Fluxograma do processo produtivo de celulose e papel.....	19
Figura 03. Municípios produtores de papel e celulose no estado de Santa Catarina.....	21
Figura 04. Distribuição do consumo de aparas por estado.....	22
Figura 05. Fluxograma do processo de reciclagem de papel.....	25
Figura 06. Vista aérea da empresa.....	43
Figura 07. Depósito de matéria prima (aparas).....	44
Figura 08. Depósito de matéria prima (celulose virgem).....	44
Figura 09. Resíduos da descontaminação das aparas.....	45
Figura 10. Estação de tratamento de efluentes.....	45
Figura 11. Resíduo centrifugado.....	45
Figura 12. Aterro Industrial da empresa.....	45
Figura 13. Fluxograma do processo de fabricação de papel pela empresa..	47
Figura 14. Principais ocorrências de cambissolos no Brasil.....	49
Figura 15. Delineamento experimental da área.....	51
Figura 16. Vista parcial das parcelas da área experimental.....	51
Figura 17. Desenvolvimento do milho (Agroeste 1575).....	52
Figura 18. pH do solo em decorrência da aplicação de diferentes doses de resíduo de reciclagem de papel e com aplicação de calcário.....	58
Figura 19. Teor de alumínio e hidrogênio do solo em decorrência da aplicação de diferentes doses de resíduo de reciclagem de papel.....	60
Figura 20. Teor de P no solo em decorrência da aplicação de diferentes doses de resíduo de reciclagem de papel.....	60
Figura 21. Teores de Ca no solo em decorrência da aplicação de diferentes doses de resíduo de reciclagem de papel.....	62
Figura 22. Relação Ca/Mg no solo em decorrência da aplicação de diferentes doses de resíduo de reciclagem de papel.....	62
Figura 23. Saturação por bases no solo em decorrência da aplicação de	

diferentes doses de resíduo de reciclagem de papel.....	64
Figura 24. Teor de Zn no solo em decorrência da aplicação de diferentes doses de resíduo de reciclagem de papel.....	65
Figura 25. Teor de Mn no solo em decorrência da aplicação de diferentes doses de resíduo de reciclagem de papel.....	66
Figura 26. Teor de Na no solo em decorrência da aplicação de diferentes doses de resíduo de reciclagem de papel.....	67
Figura 27. Número de grãos por espiga em diferentes doses de resíduo de reciclagem de papel.....	68
Figura 28. Massa de 200 grãos de milho em diferentes doses de resíduo de reciclagem de papel.....	68
Figura 29. Produtividade de grãos de milho em diferentes doses de resíduo de reciclagem de papel.....	69
Figura 30. Sintoma de deficiência de P em planta de milho.....	69
Figura 31. Níveis de mercúrio no solo X limites legislações.....	72
Figura 32. Níveis de chumbo no solo X limites legislações .....	72
Figura 33. Níveis de níquel no solo X limites legislações .....	73
Figura 34. Níveis de cádmio no solo X limites legislações.....	73
Figura 35. Níveis de cromo no solo X limites legislações.....	74
Figura 36. Teor de mercúrio nos grãos de milho X legislação.....	76
Figura 37. Teor de níquel nos grãos de milho X legislação.....	77
Figura 38. Teor de cádmio nos grãos de milho X legislação.....	77
Figura 39. Teor de cromo nos grãos de milho X legislação.....	78
Figura 40. Teor de chumbo nos grãos de milho X legislação.....	78

## LISTA DE TABELAS

Tabela 01. Área de plantio do setor de celulose e papel – mil ha.....	17
Tabela 02. Produção brasileira de papel e celulose.....	18
Tabela 03. Taxa de recuperação de papéis recicláveis em alguns países....	24
Tabela 04. Análise química e características de resíduo de fábrica de papel reciclado.....	28
Tabela 05. Limites Máximos de Concentração de Substâncias Inorgânicas pela Resolução do CONAMA n.º 375.....	37
Tabela 06. Principais estados produtores de milho – Brasil – Safras 2005/06- 2009/10 (milhões t).....	39
Tabela 07. Milho – Área, produção e rendimento – Santa Catarina – Safras 2002/03-2009/10.....	39
Tabela 08. Análise química e características do resíduo de fábrica de papel utilizados no experimento X Literatura.....	56
Tabela 09. Comparação entre Resíduo de ETE de Fábrica de Papel e Limites Máximos de Concentração de Substâncias Inorgânicas pela Resolução do CONAMA n.º 375, e CETESB (SP).....	58
Tabela 10. Teores de metais pesados no solo em decorrência da aplicação de doses de resíduo de reciclagem de papel no solo e calcário dolomítico. Canoinhas, SC.....	70
Tabela 11. Valores Orientadores de Metais Pesados para o Solo no Estado de São Paulo.....	71
Tabela 12. Teores máximos de metais pesados permitidos no solo e teores máximos de adição anual na Comunidade Européia (86/278/EEC)...	71
Tabela 13. Limites de metais permitidos no solo para uso em agricultura pela USEPA (Agência de proteção ambiental dos Estados Unidos).....	71
Tabela 14. Teores de metais pesados em grãos de milho em decorrência da aplicação de doses de resíduo de reciclagem de papel no solo e calcário dolomítico. Canoinhas, SC.....	75
Tabelas 15. Contaminantes Inorgânicos e limites de tolerância em alimentos previstos pela ANVISA.....	76

## INTRODUÇÃO

Do total de 4,8 milhões de hectares de áreas reflorestadas no Brasil, o segmento de celulose e papel em 2006, apresentava uma área de aproximadamente 1,7 milhões de hectares de florestas plantadas, representando um crescimento de 6,6% em relação à área de 2005, que era de 1,57 milhões de hectares. A área reflorestada no Brasil compreende espécies como eucalipto (78,7%), pinus (20,5%) e demais espécies - araucária, acácia e outras (0,8%) (SBS, 2009).

Uma pesquisa desenvolvida pela Associação Brasileira de Celulose e Papel - Bracelpa (2009) indicou que nos últimos 10 anos, a produção mundial de papel cresceu 35%, sendo que o Brasil somou 9.409 mil toneladas de papel em 2008 e ocupou a posição de quarto maior fabricante mundial de celulose, com aproximadamente 13 mil de toneladas.

O estado de Santa Catarina possui aproximadamente 629 mil hectares plantados com pinus e eucalipto ABRAF (2009). No entanto, com o crescimento da produção de papel e celulose e a busca incessante pela obtenção da qualidade dos produtos, as indústrias do setor têm gerado diariamente um grande volume de resíduos sólidos e efluentes, os quais têm se constituído uma grande preocupação ambiental e econômica. Bellote *et al.* (1998) relatam que aproximadamente 48 t de resíduos são gerados para cada 100 t de celulose produzida.

Já o setor agrário de Santa Catarina se caracteriza por uma diversidade de atividades, com destaque para a produção de milho, arroz, soja e banana FIESC (2009), mas carrega consigo as dificuldades para manter suas produções, sobretudo aos preços aplicados para a aquisição de fertilizantes, o qual está nas mãos de empresas internacionais. Apesar de dispor das matérias primas para a produção de fertilizantes, o Brasil segundo FAESC (2009), não possui legislação que discipline a exploração de nitrogênio, fósforo e potássio (NPK), os quais são de fundamental importância para a qualidade e fartura das lavouras. Além disso, outro insumo que aumenta os custos de produção é o calcário, usado para aumentar o pH do solo e reduzir a disponibilidade de alumínio tóxico às plantas.

A preocupação com o aumento de resíduos urbanos e industriais tem levado ao desenvolvimento de pesquisas, no sentido de buscar soluções para sua utilização, como, por exemplo, na agricultura.

Os resíduos gerados pelas empresas de base florestal, segundo Posonski (2005) são um de seus aspectos mais importantes no que diz respeito às questões ambientais inerentes às suas atividades, pois a manutenção de depósitos de resíduos, ou sua incineração, não são práticas recomendáveis ambientalmente devido aos impactos gerados.

Um dos objetivos da reciclagem de materiais é diminuir a contaminação ambiental oriundas de resíduos gerados pelo ser humano. A transformação ou a reciclagem de papel em novos produtos a serem comercializados, como, papel higiênico e papel toalha geram resíduos, também denominados de lodo de ETE e segundo Balbinot *et al.* (2006<sup>a</sup>), este resíduo possui compostos químicos que podem atuar como corretivos de acidez do solo.

Para Costa (2007), a produção de resíduos pelas empresas é próprio dos processos industriais de transformação de matérias primas. As fábricas dos papéis para fins sanitários ou *tissue*, que são produzidos a partir de matéria prima reciclada, são grandes geradoras de resíduos.

O consumo de papel reciclado no ano de 2008 foi de 3,8 milhões de toneladas e o país ocupa lugar de destaque na reciclagem de papel, com taxa de recuperação (percentual entre a coleta e consumo) de 43,7% (BRACELPA, 2009).

Bugager (1988) já comentava que 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 eram consideradas alternativas para as empresas do setor, e que as perdas no processo de reciclagem ficavam em torno dos 20%.

Fialho (1996) mostra que a reciclagem economiza energia. Os papéis recicláveis são as aparas e dividem-se em: aparas brancas; aparas de cartolina; aparas Kraft e aparas de tipografia. Já os papéis usados (velhos) são os formulários; papelões ondulados; jornais, arquivo branco (notas fiscais, faturas, livros, cadernos) (BNDES, 2006). O destino do papel reciclado no Brasil está na produção de embalagens (68%) e na produção de papel tissue da linha higiênica (10 a 12%), que aproveita aparas claras (PERECIN, 2005).

O papel reciclado é empregado, sobretudo pela indústria de papel *tissue*, estima-se que 80% das indústrias aproveitem o papel reciclado como matéria prima (UTILIZAÇÃO DE RECICLADO, 2010).

Reflexões sobre as relações entre fertilidade do solo, alternativas sustentáveis e preservação ambiental nos remetem à investigação de uma nova alternativa para diminuir custos na implantação das lavouras, bem como gerar sustentabilidade no meio rural. E com isso, evitar a poluição de rios, solos e córregos, por uso excessivo de fertilizantes, e ainda utilizar um resíduo que o destino final seria os aterros sanitários que não possuem estrutura para dar destino a este tipo de material.

Para tanto, o presente estudo buscou mostrar através de análises químicas e também na forma de experimentos conduzidos com a aplicação do resíduo da produção de papel para fins sanitários, em uma das culturas mais habitualmente plantadas no Planalto Norte de Santa Catarina.

Assim, faz-se necessário estudar formas seguras do uso do resíduo de reciclo de papel em áreas agrícolas, definindo seus efeitos sobre o solo e o desenvolvimento de culturas, bem como as doses adequadas visando a segurança ambiental associada aos benefícios econômicos.

O CONAMA, pela Resolução n.º 375 de 29 de agosto de 2006, mostra que são estabelecidos parâmetros, normas e critérios sobre o uso de lodos oriundos de estações de tratamento sanitário e seus produtos derivados, este estabelece condições para lançamento de efluentes, de forma direta ou indireta, sem causar poluição ou causar contaminação (BRASIL, 2006).

## **2. OBJETIVOS**

### 2.1. Objetivo Geral

Avaliar a influência do uso do resíduo de reciclagem de papel como condicionador de solo no processo produtivo da cultura do milho na região do Planalto Norte de Santa Catarina.

### 2.2. Objetivos Específicos

- Caracterizar o resíduo da indústria de reciclagem de papel a ser utilizado como condicionador de solo;
- Verificar a influência do resíduo da indústria de reciclagem de papel sobre as características químicas de um solo representativo da região do Planalto Norte Catarinense;
- Determinar a influência do resíduo da indústria de reciclagem de papel como condicionador de solo, sobre as características químicas de grãos e desempenho agrônômico da cultura de milho.

### 3. REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1 O Setor produtivo de papel e celulose

##### 3.1.1 Trajetória do setor

Os materiais mais utilizados para a escrita, durante séculos, foi a pedra, madeira, placas de barro, papiro, pergaminho, cânhamo, capim, palha e trapos velhos (ARACRUZ, 2011).

Ts'ai Lun em 105 A.C. inventou um novo material para a escrita, onde produzia uma substância utilizando fibras de casca da amoreira, restos de roupa e cânhamo, umedecendo e batendo a mistura até formar um mingau. A seguir, usando uma peneira e secando ao sol a fina camada ali depositada, obteve uma folha de papel. O princípio básico desse processo é o mesmo usado nos dias atuais na fabricação do papel (DRUMMOND, 2004).

No hemisfério ocidental, farrapos de pano constituíram o insumo básico para a fabricação do papel desde a Idade Média até meados do século XIX, quando a demanda desse material passou a exceder a oferta em decorrência da Revolução Industrial. O uso subsequente da madeira como matéria-prima representou um divisor de águas na história do papel. Nessa época, surgiram as primeiras pesquisas, visando a obtenção de fibras a partir do caule da madeira (PHILIPP, 1988).

Em 1844, Keller, na Alemanha, produzia a primeira pasta à base de madeira, através de um processo de desfibramento mecânico (MACDONALD, 1970). Em 1866, nos Estados Unidos, foi produzida a primeira celulose através do processo sulfito (CASEY, 1980). Em 1884, Carl Dahl, na Alemanha, desenvolveu uma pasta química, através do processo sulfato (alcalino), que é o mais difundido no mundo (BRITT, 1965).

A Aracruz (2011) relata que as primeiras espécies de árvores usadas na fabricação de papel em escala industrial foram o pinheiro e o abeto das florestas de



coníferas encontradas nas zonas temperadas frias do norte da Europa e América do Norte. Outras espécies - o videeiro, a faia, o choupo preto e o bordo, nos Estados Unidos e Europa central e ocidental, o pinheiro do Chile e Nova Zelândia o eucalipto no Brasil, Espanha, Portugal, Chile e África do Sul - são hoje empregadas na indústria de papel e celulose. Entretanto, dentre todas as espécies de árvores utilizadas no mundo para a produção de celulose, o eucalipto brasileiro é o que tem o menor ciclo de crescimento - somente sete anos.

### 3.1.2 A produção brasileira

O cultivo de florestas de pinus e eucalipto pelo setor de papel e celulose no Brasil são considerados os mais produtivos do mundo. Atualmente, as plantações de eucalipto produzem em média anualmente 41m<sup>3</sup> de madeira/ha, enquanto que as plantações de *pinus* produzem uma média anual de 35m<sup>3</sup>/ha (BRACELPA, 2010).

Como se pode notar na Tabela 1, Santa Catarina possui uma expressiva área de florestas plantadas, mostrando assim sua significância no cenário do setor, já a Tabela 2, informa a evolução do setor de papel e celulose nos últimos anos o que demonstra o grande crescimento na produção do setor no país.

Tabela 1. Área de plantio do setor de celulose e papel – mil ha

Estados	Área Plantada	Área de Conservação	Área Total
Amapá	12	752	764
Bahia	527	279	806
Espírito Santo	171	75	248
Maranhão	47	93	140
Mato grosso do Sul	155	70	225
Minas Gerais	222	150	372
Pará	49	851	900
Paraná	269	163	432
Piauí	1	4	5
Rio de Janeiro	3	1	4
Rio Grande do Sul	206	149	355
Santa Catarina	169	107	276
São Paulo	420	178	598

Total	2,251	2,872	5,123
-------	-------	-------	-------

Fonte: BRACELPA, 2010

Tabela 2. Produção brasileira de papel e celulose

Produto	1970	1980	1990	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Celulose (mil ton.)	800	3100	4400	10400	11200	12000	12697	13496	14056
Papel (mil ton.)	1100	3400	4700	8600	8700	9000	9409	9368	9775

Fonte: ABRELPE, 2011

Os autores Mattos & Valença (2009), verificaram que a indústria de papel e celulose no Brasil abrangia em torno de 220 empresas, que atuavam em 55 unidades fabris. As cinco maiores empresas produtoras de papel absorviam 45% da fabricação nacional, em contrapartida, os cinco principais fabricantes de celulose detinham 84% da produção destinada ao mercado. Tais números revelavam que a indústria do segmento de papel e celulose já apresentava números significantes de produção. Em 2009, o setor brasileiro de celulose e papel foi responsável pela geração de aproximadamente 115 mil empregos diretos (68 mil na indústria e 47 mil em florestas) e 575 mil empregos indiretos, abrangendo 222 empresas localizadas em 539 municípios de 18 estados das 5 regiões brasileiras (ABRELPE, 2011).

Segundo a Associação Brasileira de Celulose e Papel - BRACELPA (2010), a fabricação de celulose somou em março de 2010, cerca de 1,194 milhão de toneladas, obtendo desta forma aumento de 17,5 % em relação ao mesmo período do ano de 2009, no acumulado do primeiro trimestre do ano de 2010, a produção cresceu 13%. Já a produção de papel, informada pela Bracelpa (2010), subiu em março 9% em relação ao mesmo mês do ano anterior e 11,3% em relação a fevereiro, no ano a alta alcançou 8,9%.

A Figura 1 mostra o grande percentual de produção de papel na região Sul do Brasil (41,3%), ocupando o segundo lugar na produção confirmando assim a importância do setor.

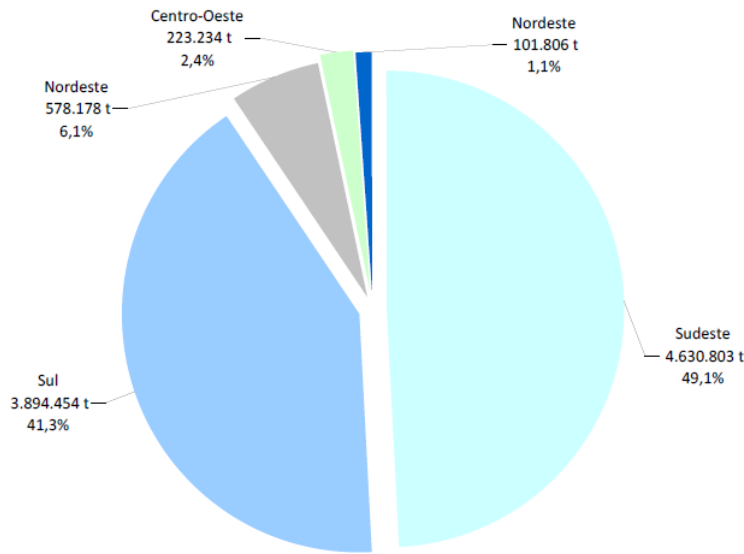


Figura 1. Distribuição da produção de papéis por regiões do Brasil  
 Fonte: BRACELPA, 2010

A Figura 2 mostra o fluxograma do processo de fabricação de celulose e papel.

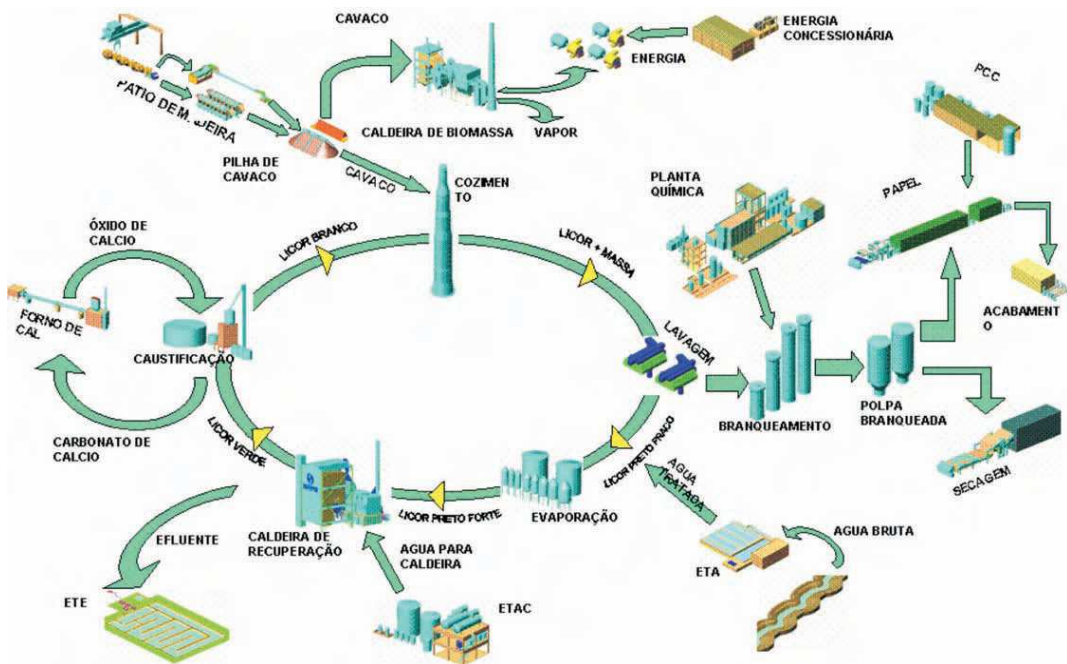


Figura 2. Fluxograma do processo produtivo de celulose e papel  
 Fonte: ABTCP, 2010

### 3.1.3 Cadeia produtiva de papel e celulose em Santa Catarina

O Estado de Santa Catarina tem uma extensão territorial de 95.985 km<sup>2</sup> e possui a vantagem de conter no seu arranjo florestal três ricas formações: a floresta atlântica (ou floresta ombrófila densa), a floresta de araucária (floresta ombrófila mista) e floresta subtropical do Rio Uruguai (floresta estacional decidual). Segundo informações da Fundação SOS Mata Atlântica/2002, restam somente 17,46% das florestas originais, o que corresponde a uma área equivalente de 1.662.000 ha, sendo que 280.000 ha podem ser considerados florestas primárias (mata virgem), e o restante são florestas secundárias em estágio médio ou avançado de regeneração (BRDE, 2010).

Em Santa Catarina a indústria de papel e celulose encontra-se disposta por um vasto espaço territorial, possuindo aproximadamente 246 empresas, localizadas em 71 municípios, especialmente nas microrregiões da área central e Oeste do Estado. Destas empresas, 68 são classificadas como microempresas, 150 pequenas, 28 médias e 3 de grande porte, como informa os dados da Relação Anual de Informações Sociais do Ministério do Trabalho (RAIS/MTE, 2010).

A Figura 3 mostra os municípios produtores de papel e celulose no Estado de Santa Catarina, onde podemos notar o grande número de municípios fabricantes no meio oeste, planalto serrano, bem como no planalto norte, sendo que neste último encontra-se a empresa que produz o resíduo estudado.



Figura 3. Municípios produtores de papel e celulose no estado de Santa Catarina  
Fonte: FIESC.

#### 3.1.4 Papel reciclado

#### 3.1.5 Considerações gerais

A atividade de reciclagem de papel no Brasil teve seu início há mais de 100 anos e se confunde com a própria origem da fabricação de papel no País. As primeiras fábricas brasileiras de papel aproveitavam papéis descartados para a produção de novos papéis. Nesse período, a quase totalidade das necessidades brasileiras de papel, em seus mais variados tipos, eram supridas por fornecedores do exterior (CELULOSE, 2011)

O outro passo da indústria brasileira foi a produção de papéis utilizando matérias-primas virgens importadas, em particular a celulose de fibras longas, e só no princípio da década de 70, a indústria brasileira de celulose começa a ter

expressão, passando os fabricantes de papel a aproveitarem as matérias-primas virgens de origem nacional, concomitantemente com as de origem estrangeira (*ibidem*).

Na medida em que se desenvolvia a fabricação de papel no país a partir de matérias-primas virgens, estimulando um maior consumo, paralelamente se expandia a atividade de reciclagem, decorrência da maior disponibilidade de papéis recicláveis (*ibidem*).

Percebe-se que a atividade de reciclagem de papel no Brasil está baseada fundamentalmente em questões de natureza essencialmente econômicas, pois, em geral, é mais barato a produção de papéis a partir de papel reciclado do que a partir de celulose. Todavia, na atualidade, a reciclagem de papel vem proporcionando um destaque crescente, na medida em que contribui para a preservação e conservação do meio ambiente. A Figura 4 mostra que o Estado de Santa Catarina ocupa o segundo lugar no consumo de aparas, com o montante de 909 mil toneladas utilizadas no ano de 2009.

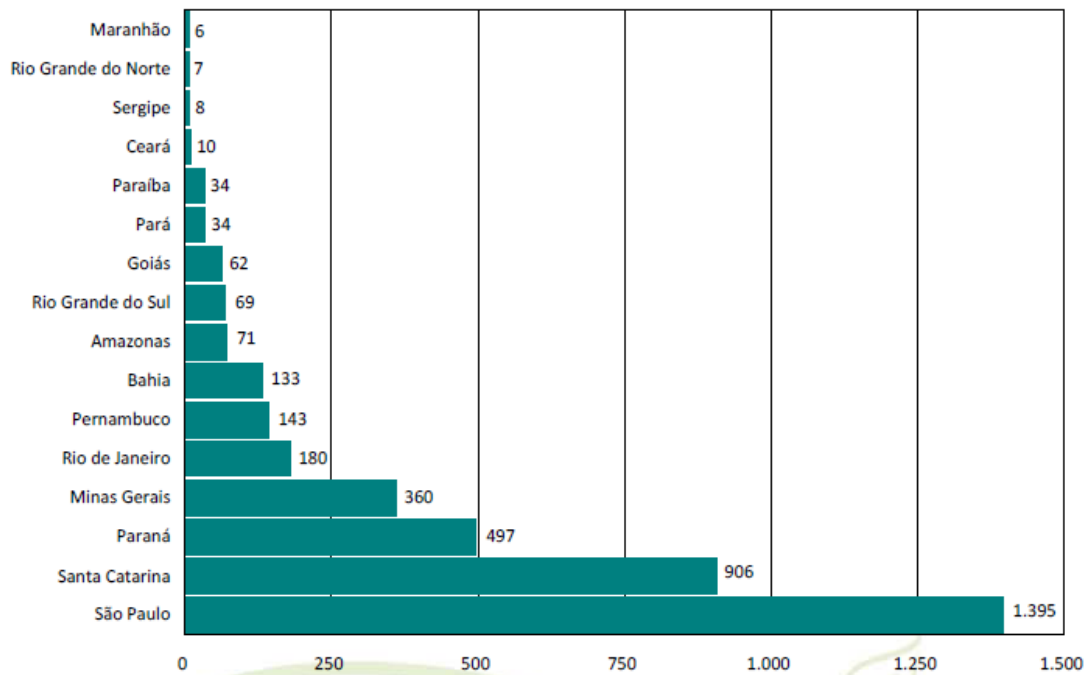


Figura 04. Distribuição do consumo de aparas por estado em 2009 - mil /ton  
Fonte: BRACELPA, 2010

Segundo Bracelpa (2010), o papel para reciclagem pode ser dividido em ondulado e de escritório. As caixas feitas em papel ondulado são facilmente recicláveis, consumidas principalmente pelas indústrias de embalagens, responsáveis pela utilização de 80% das aparas recicladas no Brasil. Somente 18% das aparas são consumidas para fabricação de papéis sanitários e 8% destinados à impressão e escrita. São Paulo (43,7%), Paraná (12,7%) e Rio de Janeiro (11,8%) são os maiores consumidores de aparas para fabricação de papel.

No mundo, os EUA são os que mais consomem aparas, com 21,3 milhões de ton/ano. No Brasil, 60% do volume total de papel ondulado consumido são reciclados, totalizando 720 mil toneladas/ano (*ibidem*).

O papel de escritório é o nome comum dado a uma variedade de produtos usados em escritório, como papéis de carta, blocos, revistas e folhetos. Nos EUA, mais da metade do papel de escritório reciclado é exportada. Em muitos casos, porém, o custo de fabricação de papel reciclado pode ser maior do que a produção a partir de celulose virgem, devido principalmente do transporte destes até as fábricas de reciclo (*ibidem*).

### 3.1.6 Produção de papel reciclado

Segundo Embrapa (2010), no Brasil somente 37% do papel produzido são destinados para a reciclagem.

O desafio atual é aumentar a produção e estabelecer um mercado cada vez mais competitivo para os reciclados. Contudo, o setor esbarra na precariedade do sistema de coleta seletiva ou na completa inexistência dele na maior parte do país (EMBRAPA, 2010).

Também faltam leis, como ocorrem em determinados países da Europa, as quais responsabilizam os fabricantes e comerciantes pela coleta e reciclagem de embalagens, jornais, revistas e outros materiais pós-consumo (EMBRAPA, 2010).

A Tabela 3 mostra que o Brasil possui uma taxa de recuperação de papel próximo a 50% do que é consumido, ficando claro que ainda tem muito a melhorar

se comparado aos os países como a Coréia do Sul e Alemanha que apresentam níveis muito superiores. A figura 5, mostra como é realizado o processo de reciclagem de papel na maior parte das empresas que o utilizam no seu sistema de produção.

Tabela 3. Taxa de recuperação de papéis recicláveis em alguns países

Países	Taxa de Recuperação *
Coréia do Sul	91,6%
Alemanha	84,8%
Japão	79,3%
Reino Unido	78,7%
Espanha	73,8%
Estados Unidos	63,6%
Itália	62,8%
Indonésia	53,4%
Finlândia	48,9%
México	48,8%
Brasil	46,0%
Argentina	45,8%
China	40,0%
Rússia	36,4%
Índia	25,9%

\* Volume de aparas recuperadas no país dividido pelo consumo aparente de papel

Fonte: BRACELPA, 2010



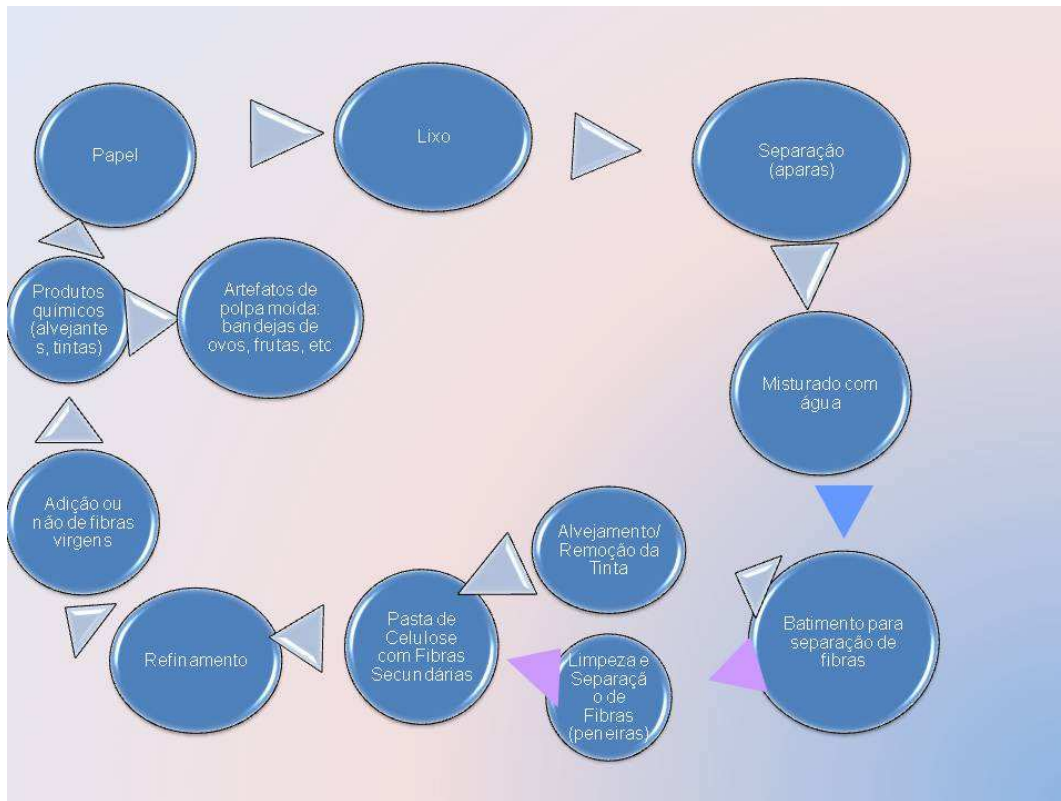


Figura 5. Fluxograma do processo de reciclagem de papel  
 Fonte: Adaptado de NASCIMENTO *et al.*, 2005

Diante do exposto, os grandes desafios do setor são a diminuição do consumo de água e o seu reuso, a minimização e destinação adequada para o lodo que gerado.

### 3.2 Resíduos sólidos

Segundo Ambiente Brasil (2010), resíduos é o resultado de processos de diversas atividades da comunidade e podem ser classificados, de acordo com sua origem em: industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e ainda da varrição pública. Os resíduos apresentam-se nos estados sólido, líquido e gasoso.

De acordo com Olandoski (2001), resíduo, lixo ou o que sobra é sinônimo da agregação aleatória de elementos bem definidos que, incorporados, se transformam em uma massa sem valor comercial e com um potencial de agressão ambiental variável segundo a sua composição.

De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT (2004), NBR 10004, os resíduos sólidos resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Estão compreendidos nesta definição os lodos oriundos de sistemas de tratamento de água, os gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, além de determinados líquidos cujas especificidades tornem inviável o seu despejo na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou ainda que demande para isso soluções técnicas e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível. A mesma norma ainda classifica os resíduos em: resíduos classe I - perigosos; resíduos classe II – não perigosos ; resíduos classe II A – não inertes e resíduos classe II B – Inertes.

Os resíduos também podem ser classificados por sua natureza física: seco e molhado; sua composição química: matéria orgânica e matéria inorgânica; e pelos riscos potenciais ao meio ambiente: perigosos, não inertes e inertes e ainda quanto a origem: domiciliar, comercial, serviços públicos, hospitalar, portos, aeroportos, terminais rodoviários e ferroviários, industrial, radioativo, agrícola ou entulho (AMBIENTE BRASIL, 2010).

A lei nº 12.305, de 2 de Agosto de 2010, institui no Capítulo II nas Definições Art. 3º XVI – que resíduos sólidos são: material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível (BRASIL, 2010)

Segundo a Abrelpe (2011), o advento da Política Nacional de Resíduos Sólidos no ordenamento jurídico brasileiro, e sua integração à Política Nacional de Meio Ambiente e à Política de Saneamento Básico, completou o estrutura regulamentária necessária para propiciar o desenvolvimento da gestão de resíduos

no Brasil, entretanto implicará necessariamente em mudanças nos sistemas adotados até agora.

O Brasil possui a partir de então um sistema de regulação que estabelece de maneira ampla os princípios, os objetivos e as diretrizes aplicáveis à gestão integrada e ao gerenciamento dos resíduos sólidos, e que disciplina as responsabilidades dos geradores e do poder público (*ibidem*).

### 3.2.1 Resíduos gerados pelas indústrias de papel e celulose

Os principais resíduos oriundos das indústrias de papel e celulose são: a casca da madeira, a lama de cal, o lodo da estação de tratamento de esgoto, o lodo biológico, a cinza de caldeira resultante da queima de biomassa, o resíduo celulósico, o “*dregs*”, o “*grits*”, sendo estes dois últimos resíduos que resultam do processo de recuperação de químicos no processo de fabricação do papel (NOLASCO *et al.*, 2000).

Os resíduos de papel e celulose são constituídos fundamentalmente por lodos primários e secundários. O primeiro é constituído de fibras de resíduos de madeira, com elevado conteúdo de carbono e baixo nível de nutrientes. Já o secundário, normalmente já sofreu tratamento microbiológico, promovendo a sua decomposição (COSTA, 2007).

O lodo de ETE (estação de tratamento de efluentes) possui grande potencial para uso como fertilizante ou como condicionador de solos, principalmente por apresentar alto teor de matéria orgânica e baixos teores de Al, Na e K (NOLASCO; GUERRINI; BENEDETTI, 2000).

Segundo Costa (2007), o resíduo celulósico é caracterizado como material proveniente de fábrica de celulose, tendo em sua composição fibras não aproveitadas no processo de produção e rejeitadas nos processos de depuração e classificação.

Segundo Balbinot Junior *et al.* (2006a), o lodo obtido da reciclagem de papel é composto de fibras, de cor acinzentada, classificado pela ABNT, como de classe IIA - não inerte. Os mesmos autores avaliaram os resíduos de apara natural (jornais,

revistas e papelão) e aparas brancas (folhas brancas de papel), onde os resultados se apresentam na Tabela 4, havendo pouca diferenciação na análise dos resíduos.

Tabela 4. Análise química e características de resíduo de fábrica de papel reciclado

Parâmetros medidos	Composição Média do Resíduo	
	Aparas naturais	Aparas brancas
Umidade (%)	65,00	66,00
pH	7,60	7,30
Carbono orgânico (%)	15,00	13,00
Cinzas (g/ 100 g)	71,00	72,00
Nitrogênio (TKN) (g/100 g)	0,28	0,19
P2O5 total (g/100 g)	0,16	0,18
K2O 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

### 3.2.2 Impactos da disposição inadequada dos resíduos sólidos na indústria de celulose e papel

Nos processos de obtenção de celulose e papel, as principais fontes de emissões hídricas de resíduos são: evaporação de licor negro, purga contínua das caldeiras, extração ácida e alcalina do branqueamento, efluente das máquinas de papel, lavadores de gases, decantadores das estações de tratamento de água,

drenagem e limpeza de tanques de químicos, regeneração na desmineralização e efluentes sanitários (LIMA & PIAZZA, 1998). Dentre estes, o maior contribuinte com vazão e concentração em DBO<sub>5</sub> (demanda biológica de oxigênio), são os efluentes gerados pela unidade de branqueamento.

Por vários anos, a indústria de celulose e papel foi notabilizada pelo impacto ambiental advindo de seus processos industriais, que vai desde a obtenção da matéria prima até o produto acabado. Porém, segundo Lima & Piazza (1998), ao longo dos anos, o setor modificou sua postura perante os problemas ambientais decorrentes de suas atividades, por vezes através da pressão da comunidade, das legislações ou por pró-atividade da indústria. Assim, passou a repensar as atitudes e tornar-se exemplo dentro do setor industrial. Contudo, ainda hoje, observa-se que o setor conserva algumas unidades com tecnologias ultrapassadas e com desempenho ambiental precário.

Portanto, a preocupação com a correta destinação final de resíduos sólidos vem aumentando significativamente nestes últimos anos tanto pela possibilidade de contaminação ambiental devido ao manejo inadequado de resíduos quanto pela possibilidade de recuperação de recursos naturais com significativo valor econômico.

### 3.2.3 Resíduos de lodo de estação de esgoto e metais pesados

O fato de um elemento ser classificado como metal pesado não denota que o mesmo seja necessariamente tóxico em qualquer concentração, pois, alguns deles como Fe, Mn, Cu, Zn e Ni são nutrientes de seres humanos e de plantas. Outras denominações tal como “metais tóxicos” também são utilizados, ainda que esta não seja adequada, uma vez que todos os elementos tem a capacidade de causar toxicidade quando presentes em excesso. Porém, parte desses metais são essenciais e benéficos, quando em concentrações apropriadas, para o desenvolvimento de plantas e animais, embora, quando em altas concentrações desempenhem efeitos tóxicos (ALLOWAY, 1995).

Nos resíduos de lodo de esgoto os metais pesados de maior preocupação são: Cd, Cr, Hg, Ni, Pb e Zn, principalmente devido a sua ocorrência generalizada, ao potencial de fitotoxicidade e aos danos a animais e humanos (CHANG *et al.*, 1997). Por outro lado, dados levantados e publicados nos Estados Unidos sobre lodo de esgoto primários levaram a seguinte ordem em termos de abundância: Zn > Pb > Ni > Cd > Hg (LUCCHESI, 1998).

Os elementos Cd e o Pb são denominados metais tóxicos, que são perigosos nas suas formas catiônicas e ligados a cadeias curtas de átomos de carbono (ESCOSTEGUY, 2004). Destes, o Cd é considerado o mais ameaçador, devido ao seu comportamento químico no solo e a capacidade das plantas e dos animais em acumulá-lo, motivo pelos quais usualmente existem considerações especiais nos manuais das agências de proteção ambiental relatando ao seu respeito (KIM *et al.*, 1988).

Já a toxicidade de Pb tem sido constatada em todo tipo de animal criado para consumo humano (FRASER, 1986). Os sintomas incluem perda de apetite, perda de peso, depressão, diarreia e anemia (GUPTA & GUPTA, 1998).

Gupta & Gupta (1998), também descrevem o efeito prejudicial ao homem dos seguintes metais pesados : Zn (Agudo: vômito, diarreia, dano neurológico e Crônico: menor utilização de Cu, deficiência de Fe, níveis mais baixos de colesterol HDL), Cd (Agudo: cólica gástrica, vômito, diarreia, tosse, dor de cabeça, urina parda Crônico: hipertensão, mal estar, desordens imunológicas, insuficiência renal).

Quando se considera a utilização do lodo para fins agrônômicos, e a possibilidade de contaminação do solo com metais pesados, torna-se necessário identificar primeiramente, a origem desse resíduo, uma vez que as concentrações de metais pesados tendem a ser menores em lodos originados de esgotos residenciais, em comparação aqueles em que os efluentes industriais prevalecem (BETTIOL *et al.*, 1983).

Além da origem do lodo, é necessário levar em consideração as quantidades desse resíduo adicionadas no solo ao longo dos anos, sendo essa a principal preocupação dos órgãos de controle ambiental, os quais estabelecem cargas máximas de metais pesados a serem acrescentados ao solo (CETESB, 2005; USEPA, 1993).

### 3.2.4 Metais pesados em solos

Na biosfera, o solo faz parte de uma área muito específica, atuando não exclusivamente como um depósito de contaminantes, mas também como tampão natural, controlando o transporte de elementos químicos e substâncias para a atmosfera, hidrosfera e biota. A função mais importante do solo está na sua produtividade, o que é essencial para a sobrevivência dos seres humanos. Conseqüentemente, a sustentação das funções ecológica e agrícola do solo é responsabilidade dos seres humanos (KABATA-PENDIAS & PENDIAS, 1992).

A ciência das reações que regem o comportamento dos metais pesados no solo é fundamental para avaliar os impactos que estes podem provocar no meio ambiente. As principais preocupações em relação à adição de metais pesados nos solos são: entrada na cadeia alimentar, diminuição da produtividade agrícola devido a efeitos fitotóxicos, acúmulo no solo, alteração da atividade microbiana e contaminação de recursos hídricos (PIRES, 2003).

Os autores Miyazawa *et al.* (1996) expõem que os metais pesados (Ba, Cd, Co, Cr, Ni, Pb, Zn e outros) presentes no lodo de esgoto, passam por várias reações químicas. As mais importantes são: adsorção na superfície das argilas; complexação com ácidos húmicos, fúlvicos, ligantes orgânicos e inorgânicos; precipitação com carbonatos, hidróxidos, óxidos, sulfetos; oxidação e redução. O balanceamento químico destas reações define a disponibilidade e a toxicidade para as plantas, solubilidade e percolação do metal no solo. Os metais pesados dispostos na superfície do solo tem variados níveis de periculosidade em função das propriedades físicas e químicas do solo e, especialmente, conforme sua transformação. Os metais acumulados nos solo são vagarosamente esgotados, especialmente pelos processos de absorção, erosão e lixiviação.

O comportamento dos elementos é complexo, conforme Kiehl (2004), principalmente por interagirem resultando em novos compostos ou por serem encontrados em variadas formas.

Os teores de Pb naturalmente presentes no solo são decorrentes das rochas de origem. Entretanto, devido à ocorrência generalizada do elemento, em função da poluição, muitos solos são enriquecidos com este metal (MALAVOLTA, 1997). A presença e o destino do Pb advindo de fontes antropogênicas, em solos, tem chamado a atenção por ser um metal perigoso tanto para animais quanto para humanos (KABATA-PENDIAS & PENDIAS, 1992).

A concentração de metais pesados no sistema solo planta é extremamente variável principalmente em função do tipo de solo e do tipo de planta analisada. Nas plantas, as alterações ocorrem tanto em relação aos níveis normais quanto aos níveis considerados tóxicos (MARQUES *et. al*, 2002)

A legislação que servirá de parâmetro para a regulamentação da legislação federal sobre aplicação de lodos e que serve de base para a legislação no Estado de São Paulo, gerenciada pela CETESB, é aquela utilizada nos Estados Unidos, para tanto o clima dos dois países são diferentes. (CARVALHO, 2002; TSUTIYA, 2006).

Desta forma o CONAMA organizou um grupo de estudos para a regulamentação do uso dos lodos agrícolas, havendo desacordo entre os especialistas em relação a metais pesados, principalmente devido à falta de pesquisas de longa duração em ambientes brasileiros (TSUTIYA, 2006).

### 3.2.5 Reciclagem de resíduos e sustentabilidade

O uso e aproveitamento de resíduos de madeira tem cooperado para a racionalização dos recursos florestais, proporcionando uma inovação socioeconômica às empresas, ambientalmente adaptadas ao gerenciamento de resíduos sólidos industriais (GOMES & SAMPAIO, 2001).

O desdobramento da madeira em serrarias, marcenarias, carvoarias e outras indústrias florestais podem ser incluídos no rol dos processos geradores de resíduos, os quais poderão se transformar em poluentes ambientais, caso não sejam empregados para a formulação ou confecção de produtos úteis (GOMES & SAMPAIO, 2001).



Posonski (2005) mostra que, assim como em diferentes setores da atividade industrial, as empresas do âmbito florestal têm se preocupado cada vez mais com os assuntos relativos à ampliação da produção, otimização dos processos, redução de desperdícios, destinação e reaproveitamento dos resíduos, além da melhoria das condições de trabalho. Isto não ocorre apenas dentro das fábricas, mas em toda a cadeia produtiva, desde a implantação de povoamentos florestais ou manejo de florestas nativas até a expedição do produto final pelas fábricas.

A principal ferramenta que muitas empresas vêm adotando ao longo dos últimos anos para o controle e a melhoria dos processos é a implantação de sistemas de gestão, visando sua posterior certificação. A procura pela certificação ambiental leva as empresas a seguirem padrões de qualidade mais rigorosos, melhorias do processo de produção e das condições de trabalho, além de uma melhor gestão no que diz respeito à destinação e reaproveitamento dos resíduos da madeira (*ibidem*).

A valorização crescente da conscientização ambiental, segundo WBCSD, (1999), tem provocado uma maior demanda por papéis reciclados e, deste modo, a pressionar para que o papel seja reciclado após seu uso (resíduo após o consumo), ao invés de simplesmente alocá-los nos aterros.

Segundo Andrade, Tachizawa & Carvalho (2002), os custos com proteção ambiental começam a ser observados pelas empresas líderes, não primordialmente como gastos, mas como investimentos no futuro e, também como vantagem competitiva.

As melhores performances ambientais e econômicas para Hunt & Auster (1990) e Hart (1995), podem coexistir por meio da inclusão de um novo modelo de organização e de uma cultura empresarial, baseada na ecoeficiência, o que certamente conduzirá a um desenvolvimento sustentável.

Segundo Ribeiro (1992), a incorporação do conceito de “desenvolvimento sustentável” pelo meio empresarial pode amenizar a degradação ambiental. Desta forma, mesmo não se tratando de uma inovação no processo de fabricação do papel, pois há muito tempo os materiais utilizados (aparas) já têm sido reaproveitados na fabricação de novos produtos, a reciclagem é fundamental no aspecto da filosofia preservacionista, o que decorre em benefícios tanto para as empresas como para a coletividade (ABTCP, 2004).

A importância da utilização da reciclagem na indústria de papel e celulose é muito importante como forma de minimizar os impactos ao meio ambiente. Bellia (1996) relata que a reciclagem de papel possibilita uma redução de energia para a produção de papel e celulose em 23% a 74%, redução na poluição do ar de 74%, minimização da poluição da água em torno de 35% e redução de 58% no uso de água.

O aproveitamento de resíduos industriais para aplicação agrícola é usualmente tratado com a mesma norma desenvolvida para lodo de esgoto urbano, que igualmente é chamado de biossólido. Esse lodo é uma mistura complexa e pode ter em sua constituição poluentes orgânicos, inorgânicos e biológicos, tanto de origem residencial como de estabelecimentos comerciais e industriais, além de compostos adicionados ou formados durante os diversos processos de tratamento de água residuária (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 2002).

### 3.2.6 Uso agrícola em alguns países no mundo

Nos Estados Unidos, a legislação estabelece duas classes de biossólidos que podem ser dispostos em solos agrícolas baseado na concentração de nove metais (As, Cd, Cu, Pb, Hg, Mo, Ni, Se e Zn) e na concentração de organismos patogênicos ao homem (coliformes fecais e *Salmonella*). A mesma, também determina como necessário a realização de processos de tratamento controlados que garanta a redução na concentração de outros organismos patogênicos como vírus entéricos e ovos viáveis de helmintos, além da redução na atração de vetores (EPA, 1993).

No caso específico da indústria de celulose e papel, existe um requerimento adicional que foi acordado entre o setor e o EPA (agência federal de proteção ambiental dos Estados Unidos que é responsável pela proteção da saúde humana, meio ambiente: ar, água e terra), em 1994 onde empresas que dispõem lodo em solo devem fazer um registro de monitoramento anual, caso a concentração de dioxinas e furanos no lodo seja igual ou superior as estabelecidas. (*ibidem*).

Já na União Européia a diretiva 86/278/ECC regulamenta o uso de biossólidos e define limites máximos admitidos para sete metais pesados (Cd, Cr,

Cu, Hg, Ni, Pb e Zn). O lodo deve ser tratado antes da aplicação superficial, mas pode também ser injetado diretamente dentro do solo. A quantidade anual de bio-sólido aplicado no solo é limitada e as áreas devem ser monitoradas para frequência e quantidade de aplicação (EU, 1986).

No Chile, por exemplo, o uso de composto orgânico tem como prioridade o incentivo a gestão e valorização dos subprodutos e resíduos sólidos orgânicos gerados no país. Os resíduos orgânicos de origem animal, vegetal, urbana e de algumas indústrias pré definidas, podem ser compostados desde que não estejam contaminados com materiais não biodegradáveis, organismos patogênicos (coliformes fecais, *Salmonella* e ovos viáveis de helmintos) e apresentem níveis de contaminação de metais (Cd, Cu, Cr, Hg, Ni, Pb e Zn), abaixo do limite estabelecido (CHILE, 2005).

### 3.2.7 Uso agrícola no Brasil

A destinação e o tratamento de lodo de ETEs vêm recebendo cada vez mais atenção, principalmente ao aumento do número de Estações de Tratamento de Esgotos instaladas e a necessidade de se atender as exigências ambientais, além disso, a elevada produção de lodo acompanha a ampliação dos serviços de coleta e tratamento dos esgotos sanitários. A destinação racional do lodo de esgoto se faz necessária diante dos problemas ambientais que podem ser causados pelo seu acúmulo. Diante do exposto, surge como promissora a sua utilização em solos agrícolas, o que segundo LOPES *et al.* (2005), vem se tornando uma tendência mundial.

Raij (1998) igualmente ressalva, que a reciclagem agrícola do lodo de esgoto na agricultura vem se destacando em países mais desenvolvidos como a melhor alternativa para o acondicionamento desses materiais, considerando que outras alternativas são menos vantajosas do ponto de vista econômico ou ambiental.

As possibilidades da utilização de resíduos de biomassa florestal em solos destinados à produção de culturas agrícolas são avaliadas como promissoras, uma vez que, além da grande oferta, apresentam nutrientes fundamentais às culturas em

sua composição (SILVA *et al.*, 2009). Contudo, para identificar a potencialidade de uso agrícola e suas possíveis limitações, o uso desse resíduo em solo deve ser precedido da determinação da composição química do resíduo e do solo Albuquerque *et al.* (2002), pois quando aplicado em quantidades consideradas inadequadas, pode prejudicar o solo e o meio ambiente pelo desbalanço de nutrientes.

Acredita-se que no Brasil um dos maiores problemas ao crescimento da produção agrícola se deve a acidez dos solos agricultáveis, (ABREU JR. *et al.*, 2003). E para corrigir este problema o produto mais largamente utilizado pelos produtores para ajustar o pH solo é o calcário, especialmente o dolomítico, que possui elevados níveis de magnésio.

Por outro lado, as empresas que produzem papel reciclado geram elevadas quantidades de resíduos, também designados lodos ETE, os quais possuem em sua composição elementos que podem atuar como corretivo da acidez do solo, igualmente como os resíduos de fábricas de celulose. Na maior parte das vezes, esses resíduos são despejados em aterros sanitários, operação onerosa e que concentra os resíduos em uma área restrita (BALBINOT *et al.*, 2006b).

Neste sentido, nota-se que o uso do lodo de esgoto na agricultura, como adubo orgânico e condicionador de solos, constitui importante alternativa para a gestão dos resíduos de ETE, aliando reciclagem de nutrientes e destinação final adequada. Contudo, a maioria dos lodos de esgoto apresenta em sua composição, além de nutrientes e matéria orgânica, organismos patogênicos, compostos orgânicos persistentes e metais pesados potencialmente prejudiciais ao ambiente (ESCOSTEGUY *et al.*, 1993; ABREU JUNIOR *et al.*, 2005).

Metais potencialmente tóxicos são capazes de expressar seu potencial poluente diretamente sobre os organismos do solo, pela disponibilidade as plantas, pela contaminação de águas superficiais, via erosão do solo, e das águas subsuperficiais, e por sua movimentação vertical e descendente no perfil do substrato (LOGAN & CHANEY, 1983; LEVINE *et al.*, 1989). Além deste fator, quando utilizado em doses elevadas e sem critérios que garantam baixos impactos ambientais estes podem aumentar a disponibilidade e absorção pelas plantas, mediante sua introdução na cadeia alimentar, inclusive com probabilidade de

contaminação humana e animal (ARAUJO & NASCIMENTO, 2005; GOMES *et al.*, 2006).

Deste modo, conhecer o destino desses elementos no solo é fundamental para a avaliação do impacto ambiental negativo provocado pelo uso agrícola do lodo, uma vez que a extensão desse impacto esta diretamente relacionada com a capacidade do solo em armazenar esses metais (ELLIOTT *et al.*, 1986).

A Tabela 5 apresenta os níveis máximos de concentração de substâncias inorgânicas previstos pela resolução n.º 375 do CONAMA (Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados) e as quais servirão de base para a discussão da pesquisa apresentada.

Tabela 5. Limites Máximos de Concentração de Substâncias Inorgânicas em lodos de esgoto para uso agrícola pela Resolução do 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
Mercurio	17
Molibdênio	50
Níquel	42
Selênio	100
Zinco	2800

FONTE: BRASIL, 2006

Esta resolução afirma que é necessário 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).

Para a produção de insumos agrícolas, a legislação brasileira aceita matérias primas de diferentes origens: agrícolas, animal, mineral, industrial, esgoto urbano e lixo desde que o estabelecimento produtor esteja autorizado pelo órgão ambiental

para exercer tal atividade e cumpra com requisitos normativos do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (Brasil, 2004).

### 3.3 A cultura do milho e sua importância na cadeia produtiva de alimentos

A base da alimentação humana é constituída basicamente por cereais, fornecendo assim, aproximadamente a metade da ingestão energética e protéica do ser humano (YOUNG & PELLETT, 1994). O cereal mais consumido pela maioria das populações de vários países da América Latina, África e Ásia, é o milho, tornando-se a principal fonte energético-protéica desses povos (NATIONAL RESEARCH COUNCIL 1988; BRESSANI 1991).

A cultura do milho deve ser analisada não só pela ótica do desenvolvimento da produção, mas sim pela importância que tem nas cadeias produtivas dos sistemas agroindústrias, pois o mesmo é insumo na produção de aves e suínos, ou seja, é base da alimentação na produção de outros alimentos chegando a representar 70 a 80% do consumo por estes setores (CRUZ, 2008). Além disso, o milho também é usado na alimentação de bovinos, sobretudo destinados à produção leiteira, seja na forma de silagem ou em grão.

No estado de Santa Catarina, o milho é a cultura de maior expressão tanto em área plantada, quanto em volume de produção. Além disso, tem significativa importância em termos socioeconômicos, pois é plantado em sua maior parte por pequenos produtores, e também porque é o principal insumo para o desenvolvimento dos plantéis de suínos e aves, ou seja, está presente no ciclo desde o nascimento até a terminação (ICEPA, 2011). Observa-se que o cultivo do milho no estado de Santa Catarina sempre se mostrou com boa participação na produção brasileira, sendo o sétimo no ranking de produção na safra 2009/2010 (Tabela 6).

Tabela 6. Principais estados produtores de milho – Brasil – Safras 2005/06- 2009/10 (milhões t)

Estado	2005/06	2006/07	2007/08	2008/09	Part%	2009/10	Part%
Paraná	11,2	13,9	15,4	11,1	21,8	12,6	23,2
Mato Grosso	4,0	5,9	7,8	8,1	15,9	7,7	14,2
Minas Gerais	5,3	6,3	6,6	6,5	12,7	7 6,1	11,2
Rio Grande do Sul	4,6	6,0	5,3	4,2	8,2	5,6	10,3
Goiás	3,1	3,9	5,0	4,9	9,6	4,7	8,6
São Paulo	4,3	4,0	4,7	4,3	8,4	44,5	8,3
Santa Catarina	3,2	3,9	4,1	3,3	6,5	3,8	7,0
Mato Grosso do Sul	2,8	2,9	3,5	2,3	4,5	3,3	6,1
Bahia	1,7	1,7	2,0	2,0	3,9	2,2	4,0
Ceará	0,4	0,4 0,3	0,8	0,6	1,2	0,2	0,4
Subtotal	40,5	48,6	55,2	47,3	92,7	50,7	93,2
Outros	2,1	2,8	3,4	3,7	7,3	3,7	6,8
Total	42,5	51,4	58,6	51,0	100,0	54,4	100,0

Fonte: CONAB, 2011

A produtividade do milho na Região Sul é a maior entre as regiões e a de Santa Catarina a maior entre os estados brasileiros (alcançou 6.300 kg/ha na safra 2009/10). O grande problema da produtividade do milho em Santa Catarina é a oscilação que há entre a potencialidade tecnológica, pois a maioria dos agricultores não tem acesso e as restrições impostas pelo clima, basicamente carência de água durante o ciclo produtivo (Tabela 7).

Tabela 7. Milho – Área, produção e rendimento – Santa Catarina – Safras 2002/03-2009/10

Discriminação	2002/03	2003/04	2004/05	2005/06	2006/07	2007/08	2008/09	2009/10
Produção (mil t)	4.310,9	3.257,8	2.695,2	2.886,1	3.793,4	4.089,4	3.265,2	3.693,3
Área (mil ha)	856,4	816,1	796,1	784,2	695	715,8	648,5	586,2

Rendimento (kg/ha)	5.034	3.992	3386	3.680	5.458	5.713	5.035	6.300
-----------------------	-------	-------	------	-------	-------	-------	-------	-------

Fonte: CONAB, 2011

Desta forma, no presente trabalho, utilizou-se a cultura do milho como referência, visto que este representa a base da alimentação de diversos animais, bem como faz parte da cultura dos agricultores catarinenses.

### 3.3.1 Necessidades nutricionais da cultura do milho

Ainda que a cultura do milho apresente alto potencial produtivo, apresentando no Brasil produtividades de 10 e de 70 t/ha de grãos e forragem, respectivamente, em condições experimentais e por agricultores que utilizam tecnologias apropriadas, o que se nota é que na prática a sua produção é extremamente baixa e irregular: 2 a 3 t de grãos/ha e 10 a 45 t de massa verde/ha (COELHO & GONÇALO, 2010).

A fertilidade do solo é considerada um dos fatores fundamentais e responsáveis por essa baixa produtividade das áreas utilizadas tanto para a produção de grãos como de forragem. A ocorrência não se deve exclusivamente aos baixos níveis de nutrientes presentes nos solos, mas igualmente ao uso impróprio de calagem e adubações, especialmente com nitrogênio e potássio. (COELHO & GONÇALO, 2010).

Cruz (2008), relata que a quantidade de nutrientes de qualquer planta é determinada pelo quanto ela consegue extrair durante o seu ciclo. Esta extração total está sujeita ao rendimento alcançado e da concentração de nutrientes nos grãos. Na cultura do milho, a absorção de N; Fe; P; Ca e Mg aumenta linearmente com o elevação na produção, sendo que a maior exigência do milho se refere a N e K, e posteriormente pelo Ca, Mg e P. Já no que se refere à necessidade de micronutrientes estes são pouco requeridos pelas plantas de milho, mas a deficiência de um deles pode afetar organização de processos metabólicos e também promover a deficiência de um macronutriente como o nitrogênio.



### 3.3.2 Importância dos macronutrientes para as plantas e para o solo

As principais funções dos macronutrientes na vida da planta, segundo Malavolta (1997), são: nitrogênio – absorção iônica, fotossíntese, respiração, multiplicação e diferenciação celulares, fósforo – armazenamento e transferência de energia, fixação simbiótica de nitrogênio; potássio – abertura e fechamento de estômatos, fotossíntese, transporte de carboidratos e outros produtos, respiração, sínteses, fixação simbiótica de nitrogênio; cálcio – estrutura e funcionamento de membranas, absorção iônica, reações com hormônios vegetais e ativação enzimática, mensageiro secundário; magnésio – absorção iônica, fotossíntese, respiração, armazenamento e transferência de energia, sínteses orgânicas, balanço eletrolítico, estabilidade dos ribossomos.

A disponibilidade de P no solo para a nutrição das plantas é essencial. Nenhum outro elemento tem a capacidade de substituí-lo, sendo considerado um dos três nutrientes primários, juntamente com o N e o K. Sua ação é imprescindível na produção de energia (ATP) para o metabolismo da plantas, assim sendo, todos os demais nutrientes, dependem direta ou indiretamente dele para seu desenvolvimento (TAIZ *et al.*, 2004).

Na agricultura, as fontes de fósforo mais usadas são os fosfatos solúveis em água, como os superfosfatos simples e triplo e o fosfato monoamônico que no ano de 1992 representaram, respectivamente, 50, 18 e 12,5% do total consumido no Brasil (IBGE, 2010). Características, como solubilidade, teor, granulometria e elementos acompanhantes do fósforo, são determinantes para o maior ou menor aproveitamento do nutriente pelas plantas (ALCARDE *et al.*, 1989).

O uso adequado de adubos fosfatados demanda determinados conhecimentos sobre a dinâmica do fósforo e de suas interações com o solo, bem como a determinação do teor disponível do elemento, objetivando diagnosticar as

deficiências nutricionais das plantas e, conseqüentemente, indicar as práticas necessárias para corrigi-las, visando o máximo de rendimento agrícola (MARTINEZ & HAAG, 1980).

É essencial, no entanto, definir a relação entre o teor de nutriente no solo e o rendimento da cultura, para determinar o nível crítico de P no solo, a fim de que sua aplicação não seja feita sem necessidade (MOREIRA *et al.*, 1997).

## 4. CARACTERIZAÇÃO DO PROCESSO DE RECICLAGEM DE PAPEL DA EMPRESA ESTUDADA

### 4.1 A Empresa

O parque fabril e florestal da CVG – Cia. Volta Grande de Papel (Figura 6) está localizado no Distrito de Volta Grande, situado ao sul do Município de Rio Negrinho, Estado de Santa Catarina, região do Planalto Norte Catarinense. Em 2012 completará 75 (setenta e cinco) anos de funcionamento.

A empresa é produtora de papel da linha higiênica (*tissue*), produzindo papel higiênico, guardanapo e toalha descartável. Possui três máquinas de produção de papel, com produção mensal de aproximadamente 2.000 toneladas de papel, e utiliza como matéria prima apara de papel reciclado, proveniente de centros como São Paulo, Curitiba e Rio de Janeiro.



Figura 6. Vista aérea da empresa

Fonte: PIN, 2009

## 4.2 Processo produtivo

No processo de fabricação do papel pela empresa, as aparas (Figura 7) e a celulose (Figura 8), são misturadas em quantidades diferenciadas dependendo do produto a ser gerado. Ambas são processadas, passando pela trituração, depuração e refinação. No processo de descontaminação das aparas são removidas todas as impurezas, como areia, grampos, clips e plásticos (Figura 9) estes rejeitos são enviados ao aterro da própria indústria (Figura 12).

A massa formada de fibras (aparas + celulose) segue para as máquinas formadoras do papel, onde o excedente de água volta ao processo para se retirar o restante de fibras, tendo a água o destino da Estação de Tratamento de Efluentes (ETE) (Figura 10), juntando-se às outras águas que sobram de outros processos na fabricação.

Na ETE, a água contendo fibras sofre adição de polímeros e agentes flotadores (sulfato de alumínio), para facilitar a decantação e clarificação.

A decantação é realizada 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 7. Depósito de matéria prima (aparas)



Figura 8. Depósito de matéria prima (celulose)



Figura 9. Resíduo da descontaminação das aparas



Figura 10. Estação de tratamento de efluentes

O resíduo centrifugado (Figura 11), com umidade ao redor de 60%, é composto essencialmente por fibras celulósicas não aproveitadas no sistema de produção. Após, o resíduo é carregado e transportado para o aterro industrial da empresa (Figura 12). A produção diária é de aproximadamente 16 t/dia de lodo úmido.



Figura 11. Resíduo centrifugado



Figura 12. Aterro industrial da empresa

A água resultante do processo segue para três lagoas anaeróbia, consecutivas, passando por um tratamento biológico, com adição de nutrientes (nitrogênio e fósforo) e enzimas, com vistas a promover a decomposição da matéria orgânica. Ao final deste processo, o resíduo tratado é disposto no rio que passa pela propriedade, dentro dos padrões exigidos pela legislação ambiental vigente.

A Figura 13 (a seguir) descreve o processo de fabricação de papel da linha *tissue* na empresa, sendo que o estudo será focalizado no uso do resíduo descartado na ETE.



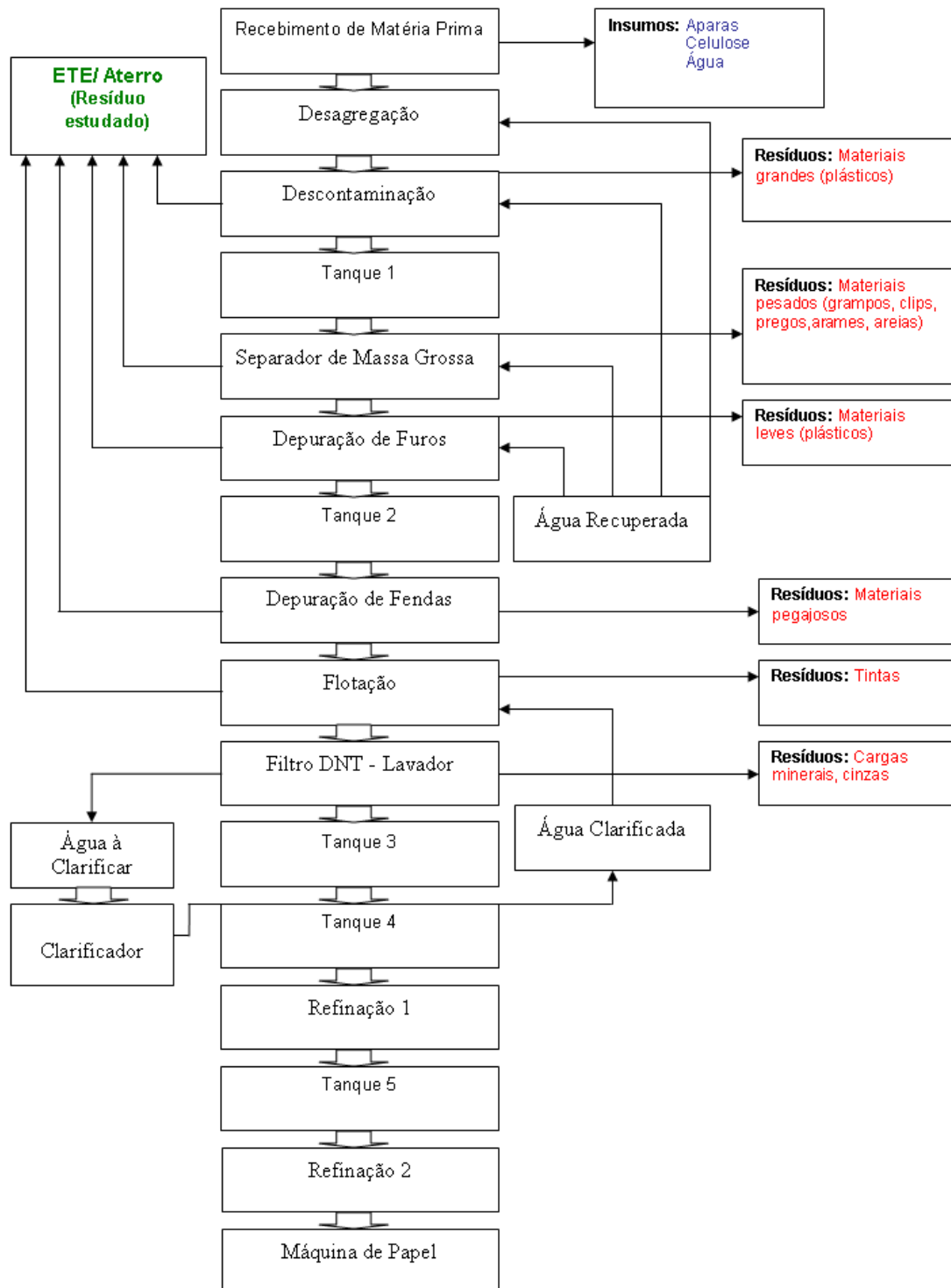


Figura 13. Fluxograma do processo de fabricação de papel pela empresa  
 Fonte: PIN, 2009 – adaptado pelo autor

## 5. METODOLOGIA

### 5.1 Amostragem do resíduo a ser reutilizado

O resíduo utilizado como objeto deste estudo foi o lodo produzido na ETE da empresa, proveniente do processo de fabricação de papel a partir de papel reciclado. Como a empresa estudada está localizada no município de Rio Negrinho – SC, o resíduo foi coletado do depósito de lodo centrifugado e transportado por meio de caminhões caçamba para a área experimental em Canoinhas - SC, onde foram distribuídos nas parcelas, conforme as quantidades pré-estabelecidas.

#### 5.1.2 Tipificação do solo em que o resíduo foi aplicado

O solo em que o resíduo foi aplicado, segundo (Embrapa, 1999) foi identificado como um Cambissolo Háplico. Este possui características próprias e ocorre em vastas áreas no estado de Santa Catarina (Figura 14), são solos que apresentam grande variação no tocante a profundidade, ocorrendo desde rasos a profundos, a drenagem varia de acentuada a imperfeita e podem apresentar diferentes tipos de horizonte B incipiente, hísticos, húmicos ou háplicos, sendo que este último é típico do local de implantação da unidade experimental. Estes são solos com reduzida fertilidade, devido à elevada saturação por alumínio (állicos).





Figura 14. Principais ocorrências de Cambissolos no Brasil  
Fonte: IBGE, 2007

## 5.2 Delineamento experimental

O experimento de campo foi conduzido em campo localizado no município de Canoinhas/SC (longitude 50° 16' oeste, latitude 26° 22' sul e altitude de 800 m). O local foi escolhido por ser uma área ainda não utilizada para o cultivo de qualquer espécie agrícola e por estar em uma parte do terreno que não sofre deposição de materiais em decorrência das chuvas, portanto não influenciando os resultados obtidos.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos completos inteiramente casualizados com três repetições (Figura 15), conforme já utilizado por (BALBINOT *et al*, 2009). Em complemento, foram realizadas análises de solo para verificar as características físicas e químicas do solo antes da instalação do experimento.

Posteriormente foi realizada a aplicação do resíduo da reciclagem de papel (base úmida) nas doses de: 50; 100; 150; 250; 400 e 600 t/ha com 60% de umidade e após incorporados ao solo por meio de uma aração e três gradagens, em profundidade de 0,2 m, método também empregado por (BALBINOT *et al*, 2009).

As parcelas experimentais (Figura 16) foram compostas de cinco linhas de 8m de comprimento, com espaços entre linhas de 0,9 m e entre plantas de 0,20 m. Cada unidade experimental ficou com área total de 40m<sup>2</sup> (5 m X 8 m) e área útil de 9m<sup>2</sup> (1,8 m X 5 m). Utilizou-se o espaço entre blocos de 1m e o espaço entre parcelas dentro do bloco de 0,5 m, para não haver influência de um tratamento sobre o outro.

A variedade de milho utilizada foi a Agroeste 1575 (Figura 17) a qual possui características recomendadas para a região do Planalto Norte Catarinense e também por oferecer excelente colmo, plantas e espigas uniformes, grãos densos, saudáveis, alto potencial produtivo e estabilidade de produção (AGROESTE, 2011).

A semeadura foi manual, em área ocupada anteriormente por pasto nativo. Em adição, foi mantido o tratamento padrão, com aplicação de 13 t/ha de calcário dolomítico com 100% de poder relativo de neutralização (PRNT), dose recomendada para atingir pH 6,0 (SOCIEDADE, 2004) e o tratamento controle (sem aplicação de resíduo e calcário). Utilizou-se a adubação recomendada para todos os tratamentos conforme Sociedade (2004).

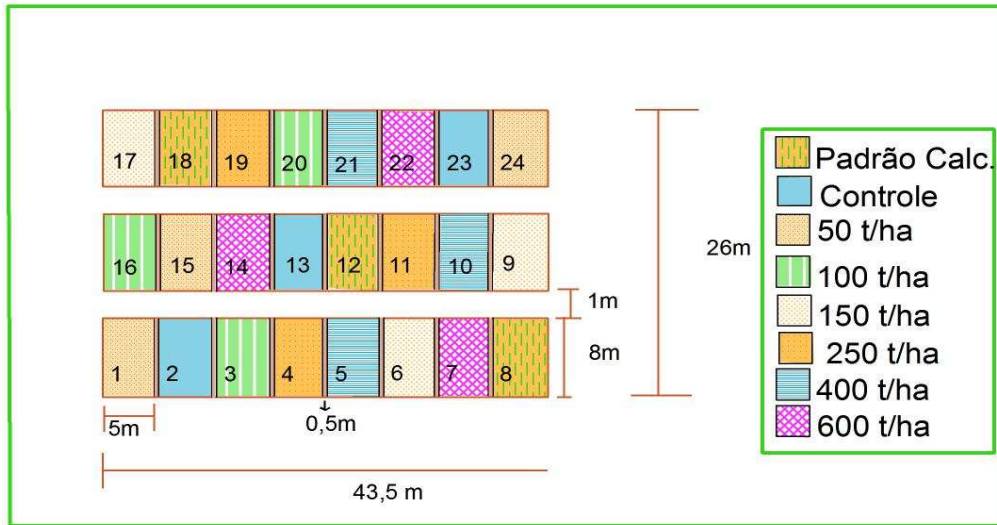


Figura 15. Delineamento experimental da área



Figura 16. Vista parcial das parcelas da área experimental



Figura 17. Desenvolvimento do milho (Agroeste 1575)

### 5.3 Determinações e avaliações do experimento

#### 5.3.1 Caracterização do resíduo

Foram avaliadas as características químicas do resíduo (lodo de ETE) seguindo metodologia descrita por Tedesco (1995): Umidade, pH, Carbono orgânico, Cinzas, Nitrogênio,  $P_2O_5$  total,  $K_2O$  total,  $CaO$  total,  $MgO$  total, Ferro total, Manganês total, Sódio total, Enxofre total, Cobre total, Zinco total, Boro total, Chumbo total, Mercúrio, Alumínio total, Cádmi total, Cromo total, Níquel total, Molibdênio, Cobalto total, condutividade elétrica e poder de neutralização.

### 5.3.2 Características químicas do solo

As características químicas do solo foram avaliadas, por metodologia proposta por Tedesco (1995) antes e após a aplicação do resíduo, indicando os seguintes parâmetros: textura (teor de argila), pH em água, Índice de SMP (necessidade de calagem), fósforo assimilável, potássio disponível, matéria orgânica, alumínio trocável, cálcio trocável, magnésio trocável, Al + H, relação Ca/Mg, Ca/K, Mg/K, capacidade de troca de cátions – CTC, saturação de bases – V, S; Zn; Cu; B; Mn; Fe; Na e Al.

### 5.3.3 Produtividade e componentes de rendimento de grãos

Para determinar a produtividade de grãos da cultura, foram avaliadas as espigas resultantes da colheita da área útil estabelecida de 9 m<sup>2</sup> e depois de avaliadas em laboratório para identificação dos determinantes desejados de acordo com as Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 1992). As quais foram: número de espigas por planta, massa de grãos, número de grãos por espiga.

O número de espigas por planta foi calculado dividindo-se o número de espigas colhidas pelo número de plantas existentes no dia da colheita. Para determinação da massa foi utilizado duzentos grãos de cada parcela (resultando em 3 amostras para cada dose aplicada) e após secas em estufa até 13% de umidade, pesados e assim realizado o cálculo da média. O número de grãos por espiga foi quantificado a partir da amostra de 10 espigas de cada parcela e em seguida realizada a média.



#### 5.3.4 Metais pesados no solo

Os metais pesados do solo foram avaliados quando o milho estava no estágio de maturação de colheita, assim, foi retirado, nas entre linhas da cultura, 15 sub-amostras de solo em cada unidade experimental na profundidade de 0 a 0,2 m, as quais formaram uma amostra para cada parcela, seguindo metodologia proposta por Tedesco (1995). As vinte e quatro amostras (número de parcelas experimentais) de solo foram encaminhadas para o Laboratório de Análises da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), onde, determinaram-se os teores totais dos metais Pb; Ni; Cd; e Cr pelo método USEPA 3050 e o Hg pelo método USEPA 7471 (USEPA, 2010).

#### 5.3.5 Metais pesados nos grãos de milho

Foram avaliadas as espigas resultantes da colheita da área útil estabelecida de 9 m<sup>2</sup> de cada parcela e após, as espigas foram secas em estufa de circulação forçada de ar a 65 °C, debulhadas e os grãos moídos.

Nas amostras, os teores totais dos metais Cr, Cd, Ni e Pb foram determinados por espectrometria de emissão ótica ICP-OES, a técnica é baseada na medida da intensidade da radiação emitida, quando um átomo ou íon excitado pelo plasma retorna ao seu estado fundamental (ICP, 2003). O Hg foi medido pelo método USEPA 7471, que consiste na digestão de 1 g da amostra peneirada e seca com água-régia em banho-maria, à 90 °C com posterior tratamento com KMnO<sub>4</sub> a 5% e K<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>8</sub> a 5%, a 70 °C (USEPA, 2010). Após foi calculada a média e os resultados utilizados nas análises.

### 5.3.6 Método de análise de dados

O trabalho procurou gerar as informações necessárias para a avaliação do resíduo e seu possível uso na agricultura.

Os dados coletados foram avaliados estatisticamente por meio de análise de variância e teste F. Quando comprovada existência de diferença significativa entre tratamentos a 5 % de probabilidade do erro, realizou-se análise de regressão. Para tanto, selecionou-se o modelo que apresentou o melhor ajuste aos dados e ao fenômeno investigado.

## 6. RESULTADOS E DISCUSSAO

### 6.1 Características do resíduo

A Tabela 8 apresenta as características do resíduo investigado no experimento, em comparação com os resultados de literatura. Nota-se que estes possuem propriedades semelhantes, havendo apenas variações de alguns elementos, o que nos permite dizer que dependendo da matéria prima utilizada no processo de fabricação, os parâmetros medidos tiveram alterações tanto qualitativamente quanto quantitativamente, sendo necessária a avaliação do resíduo antes da aplicação no solo para determinar as quantidades a serem usadas. Bem como, uma pré-avaliação da análise do solo e da cultura a ser utilizada.

Tabela 8. Análise química e características do resíduo de fábrica de papel utilizados no experimento X Literatura

Parâmetros medidos	Resíduo Estudado	Resíduo Literatura (BALBINOT, 2006b)	Resíduo Literatura (COSTA, 2007)
Umidade (%)	63,00	66,00	-
pH	7,70	7,30	8,6
Carbono orgânico (%)	20,00	13,00	23,00
Cinzas(%)	61,00	72,00	55,54
Nitrogênio (TKN) (g/100 g)	0,17	0,19	0,16
P2O5 total (g/100g)	0,07	0,18	0,23
K <sub>2</sub> O total (g/100g)	0,05	0,11	0,13
CaO total (g/100g)	24,00	22,00	15,00
MgO total (g/100 g)	0,30	0,42	0,17
Enxofre total (%)	0,07	0,17	0,04
Zinco total (mg/Kg)	306	321	265,22
Ferro total (g/100 g)	0,24	0,22	0,24
Manganês total (g/100 g)	40,00	55,00	44,35
Sódio total (g/100 g)	0,23	0,45	0,15
Chumbo total (g/100 g)	7,00	23,00	10,99
Cobre total (mg/Kg)	39,00	91	49,14
Boro total (mg/Kg)	< 1	17	499,45

Continuação...



Parâmetros medidos	Resíduo Estudado	Resíduo Literatura	Resíduo Literatura
Níquel total (mg / kg)	4	35	< 9,99
Cromo total (mg/kg)	46	10	0,05 ppm
Cádmio total (mg / kg)	< 0,2	< 2	< 9,99
Mercúrio (mg / Kg)	0,09	0,01	0,18
Molibdênio (mg / Kg)	3	< 15	< 9,99
Cobalto total (mg / Kg)	5	23	-
Alumínio total (%)	2,5	5,1	-
Condutividade Elétrica (dS/cm)	0,88	2,8	-
Poder de neutralização (%)	44	45	-

Fonte: BALBINOT JR. *et al.*, 2006b; COSTA, 2007

#### 6.1.1 Comparação dos níveis máximos de concentração de substâncias inorgânicas previstos pela resolução n.º 375 do CONAMA e CETESB – SP

A Tabela 9 apresenta a comparação dos níveis máximos de concentração de substâncias inorgânicas previstos pela CETESB – SP (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do estado de São Paulo) e também pela resolução n.º 375 do CONAMA (Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados), e os apresentados pelo resíduo estudado, mostrando que resíduo não excedeu as concentrações máximas (base seca) previstas na resolução 375 do CONAMA e os limites estabelecidos pela CETESB.

Tabela 09. Comparação entre Resíduo de ETE de Fábrica de Papel e Limites Máximos de Concentração de Substâncias Inorgânicas pela Resolução do CONAMA n.º 375, e CETESB (SP)

Substâncias inorgânicas	Concentração Máxima permitida no lodo de esgoto ou produto derivado (mg/kg, base seca) (CONAMA)	Concentração permitida pela CETESB -SP (mg / kg base seca)	Resíduo Estudado (mg/kg, base seca)
Arsênio	41	75	-
Bário	1300	-	-
Cádmio	39	85	< 2
Chumbo	300	840	7
Cobre	1500	4300	39
Cromo	1000	-	46
Mercurio	17	57	0,09
Molibdênio	50	75	3
Níquel	42	420	4
Selênio	100	100	-
Zinco	2800	7500	306

Fonte: BRASIL (2006); CETESB (2005).

## 6.2 Efeitos da aplicação do resíduo em relação ao pH do solo

Os resultados dos teores de pH com a aplicação dos resíduos de papel no solo, são mostrados na Figura 18.

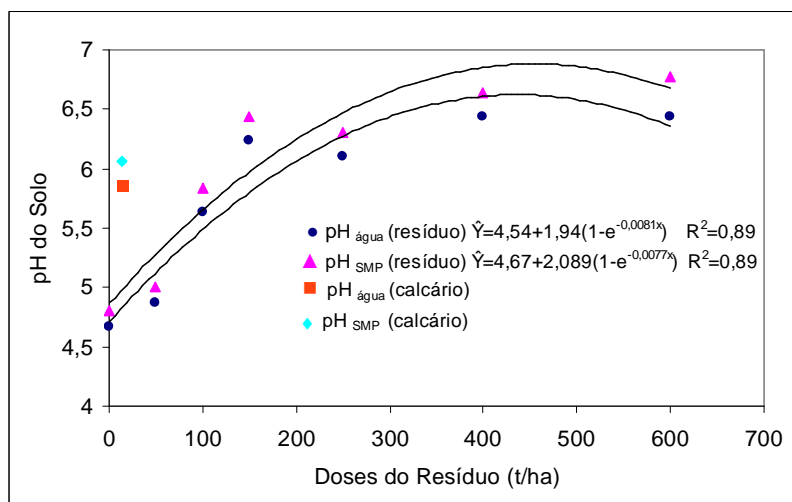


Figura 18. pH do solo em decorrência da aplicação de diferentes doses de resíduo de reciclagem de papel e com aplicação de calcário (amostragem: março de 2009). Canoinhas, SC.

De acordo com a Figura 18, houve aumento do pH do solo após aplicação do resíduo de reciclagem de papel. A habilidade do resíduo testado de aumentar o pH do solo já havia sido notada por (BALBINOT Jr, 2006 a e b) e por (COSTA *et al.* 2009).

Nas doses acima de 120 t/ha de resíduo, o  $\text{pH}_{\text{água}}$  (acidez que está ativa) alcançou valores acima de 5,5. No pH SMP também ocorreu elevação em níveis acima de 100 t/ha, o pH SMP representa o total da acidez que existe no solo, é o que se leva em consideração para modificar o pH do solo (calagem). Em  $\text{pH}_{\text{água}}$  acima de 5,5 já não há mais alumínio tóxico no solo (SOCIEDADE, 2004).

O calcário, como esperado, também elevou o  $\text{pH}_{\text{água}}$  do solo acima de 5,5 método utilizado pela maioria dos agricultores e que possui sua eficiência, porém é um recurso não renovável.

Mesmo nas maiores doses do resíduo, o  $\text{pH}_{\text{água}}$  do solo não passou de 6,5. Níveis de pH superiores a 6,5 são muito elevados para as cultura do milho. Em  $\text{pH}_{\text{água}}$  próximo à neutralidade pode haver reduzida atividade microbiana e baixa disponibilidade de alguns micronutrientes, tais como Mn, Fe, Zn e Cu (KABATA PENDIAS E PENDIAS, 1992). O  $\text{pH}_{\text{água}}$  do solo adequado para a maioria das culturas anuais se situa na faixa de 5,5 a 6,5 (MARSCHNER, 1995).

Desta forma, este resultado evidencia que reaplicações do resíduo somente podem ser realizadas com base em resultado de análise de solo que confirmem redução de  $\text{pH}_{\text{água}}$  para valor inferior a 5,5. Se o  $\text{pH}_{\text{água}}$  do solo estiver acima de 6,5 e for realizada aplicação ou reaplicação do resíduo, mesmo que em doses baixas, possivelmente ocorrerá elevação excessiva de pH, denominada supercalagem, que pode afetar negativamente a produtividade de várias culturas, principalmente pela ocorrência de desequilíbrios nutricionais e ao desenvolvimento de patógenos nocivos às plantas (TANAKA *et al.*, 1992).

### 6.2.1 Teores de alumínio + hidrogênio (Al + H) e fósforo (P) no solo

Nas figuras 19 e 20 são apresentados os resultados para os teores de Al + H e P no solo.

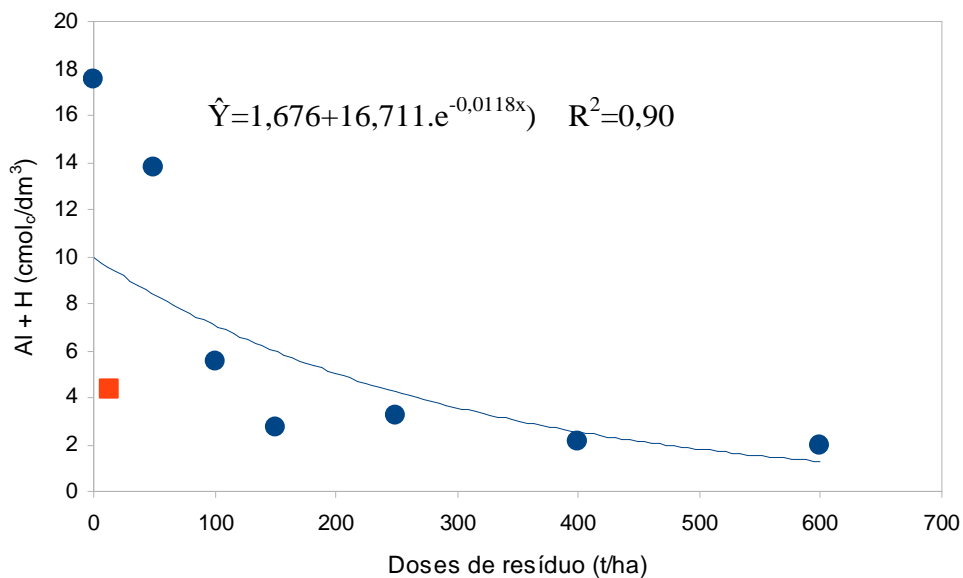


Figura 19. Teor de alumínio e hidrogênio do solo em decorrência da aplicação de diferentes doses de resíduo de reciclagem de papel (●) e com aplicação de calcário (■) (amostragem: março de 2009). Canoinhas, SC.

Devido ao aumento de pH do solo promovido pelo resíduo houve redução dos teores de Al + H no solo (Figura 19). Salienta-se que o principal problema decorrente de pH baixo é a alta disponibilidade de Al às plantas, causando redução do crescimento de raízes e, conseqüentemente da produtividade agrícola, logo o acréscimo do resíduo na ordem de 100 a 200 t/ha permitiu manter o nível de Al e H em valores próximos aquele obtido utilizando apenas calcário.

Redução na produtividade de híbridos de milho variando de 7 a 47% em função do aumento da saturação de alumínio no solo foi verificada por Prado (2001) em experimento conduzido em Uberaba, MG.

Entre as espécies cultivadas, o milho é classificado como sendo de tolerância mediana as condições de acidez e toxidez de alumínio (CRUZ, 2008).

Tais resultados mostram que a correção da acidez é muito importante para o adequado desenvolvimento da cultura do milho.

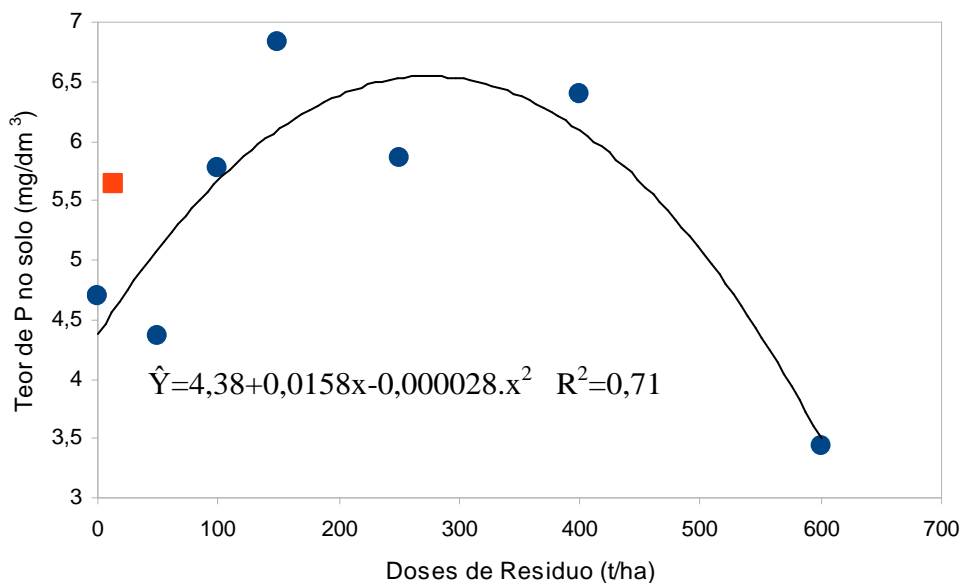


Figura 20. Teor de P no solo em decorrência da aplicação de diferentes doses de resíduo de reciclagem de papel (●) e com aplicação de calcário (■) (amostragem: março de 2009). Canoinhas, SC.

Constatou-se aumento no teor de P até, aproximadamente a dose de 240 t/ha de resíduo (Figura 20). Essa elevação ocorreu tanto pelo aumento do pH do solo (Figura 18) quanto pela disponibilidade de P na solução do solo, tudo isso ocorreu pelo fato do resíduo possuir em sua constituição P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (Tabela 5), os teores de fósforo disponíveis no solo, no que se refere a exportação de nutrientes na cultura do milho, é quase todo translocado para os grãos (78 a 86%), sendo assim de extrema importância para o desenvolvimento a cultura (CRUZ, 2008). Doses acima

desta reduziriam o teor de fósforo extraível, provavelmente em função da formação de fosfato de cálcio quando existe grande concentração de Ca no solo em pH mais elevado, conforme relatado por ERNANI *et al.* (2000).

Na maior dose de resíduo avaliada o teor de P extraível foi inferior a dose zero, indicando expressiva formação de fosfato de cálcio, o que é indesejável, já que o P é um macronutriente e os seus teores em solos do Sul do Brasil em geral são baixos (SOCIEDADE..., 2004)

Costa *et al.* (2009) também verificaram aumento no teor de P em dois tipos de solo em decorrência da aplicação de resíduo de reciclagem de papel.

A deficiência do fósforo (P) restringe a produtividade do milho, esta cultura requer muito este elemento, pois necessita deste para a formação e desenvolvimento dos grãos. Sua ausência do mesmo ocasiona a formação de espigas tortas, mal-formadas e com falhas, além de acarretar atraso e desuniformidade na maturação dos grãos (LUCENA *et al.*,2000).

#### 6.2.2 Avaliação dos teores de Cálcio (Ca) e relação Ca/Mg no solo

Nas figuras 21 e 22 são apresentados os resultados para os teores de Ca e a relação Ca/Mg no solo.

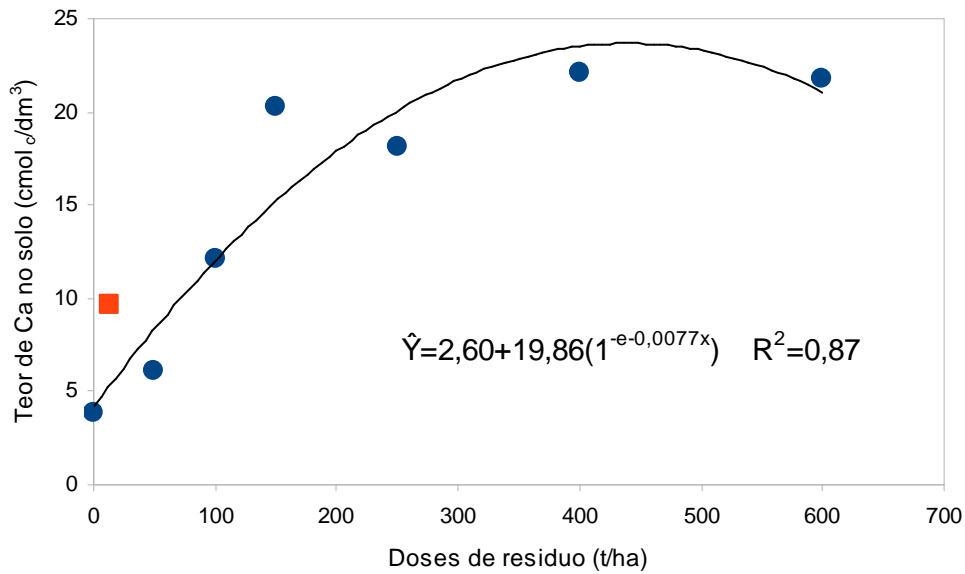


Figura 21. Teores de Ca no solo em decorrência da aplicação de diferentes doses de resíduo de reciclagem de papel (●) e com aplicação de calcário (■) (amostragem: março de 2009). Canoinhas, SC.

O resíduo afetou significativamente os teores de Ca (Figura 21) até a dose 400t/ha. Doses superiores a esta não aumentaram o teor de Ca. O aumento nos teores de Ca com a aplicação do resíduo ocorreu porque este produto possui em sua composição CaO (Tabela 5). O calcário também proporcionou aumento no teor desse nutriente.

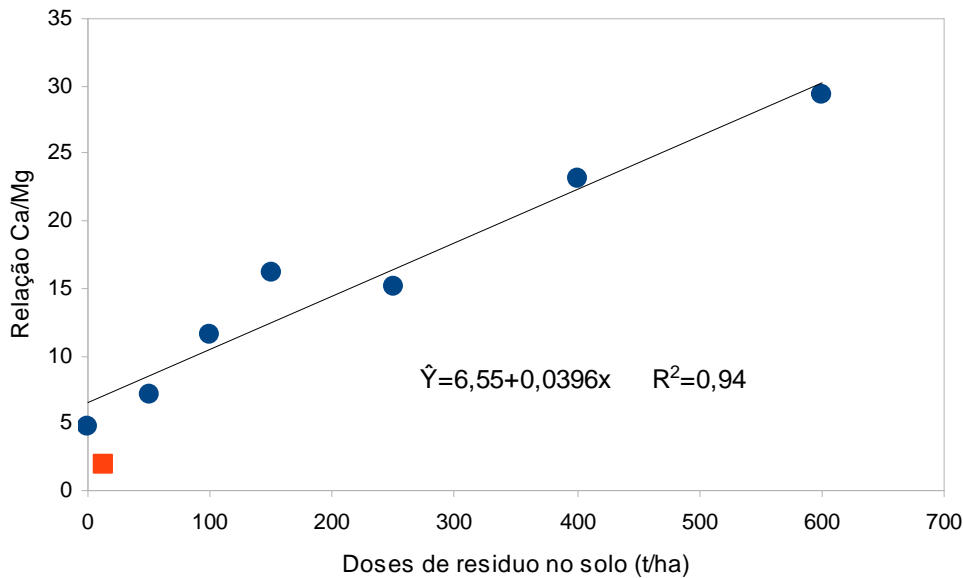


Figura 22. Relação Ca/Mg no solo em decorrência da aplicação de diferentes doses de resíduo de reciclagem de papel (●) e com aplicação de calcário (■) (amostragem: março de 2009). Canoinhas, SC.

Em decorrência do aumento no teor de Ca, em função da aplicação do resíduo no solo, a relação Ca/Mg aumentou linearmente com o incremento das doses de resíduo avaliadas, atingindo valores próximos a 30 (Figura 22). Esses resultados indicam que o resíduo testado apresenta alto potencial para aumentar a relação Ca/Mg do solo.

No entanto, com a aplicação de calcário, houve comportamento inverso, ou seja, redução da relação Ca/Mg em relação à controle. O emprego de corretivos que possuem relações impróprias de Ca e Mg provocam desbalanços nutricionais, podendo induzir deficiências nas plantas e comprometer o seu crescimento (ROSOLEM *et al.*; 1984).

Em muitas áreas cultivadas, a relação Ca/Mg é inferior a 2, devido à utilização intensa de calcário dolomítico (Oliveira *et al.* 2002), situação na qual o resíduo testado pode ser utilizado para elevar esta relação. O rendimento da maior parte das culturas não é afetado por relações Ca/Mg que variam de 0,5 até mais de 10, mas desde que nenhum dos dois nutrientes esteja em deficiência (SOCIEDADE, 2004).



Adicionalmente, este resíduo pode ser usado em culturas que requerem elevada disponibilidade de Ca no solo para adequado crescimento e desenvolvimento, como, por exemplo, a maçã e o tomate (SOCIEDADE, 2004).

### 6.2.3 Avaliação da saturação da CTC por bases (%)

Na Figura 23 constam as análises referentes a saturação da CTC por bases do solo analisado.

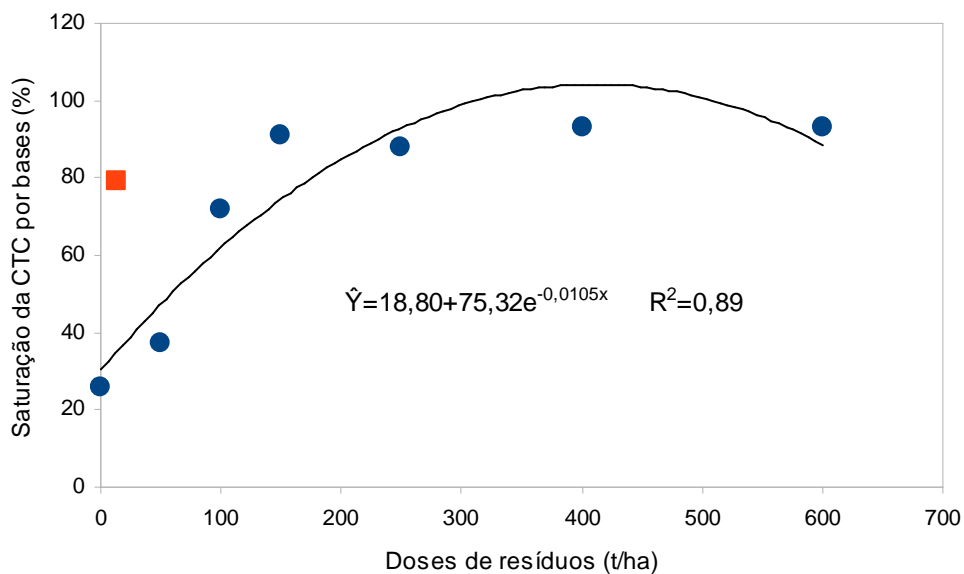


Figura 23. Saturação por bases no solo em decorrência da aplicação de diferentes doses de resíduo de reciclagem de papel (●) e com aplicação de calcário (■) (amostragem: março de 2009). Canoinhas, SC.

Verifica-se na figura 23 que o aumento na dose de resíduo promoveu incremento na saturação da Capacidade de Troca de Cátions (CTC) por bases, até, aproximadamente 300 t/ha. A CTC está relacionada à fertilidade do solo, quanto maior a CTC maior será o pH, a matéria orgânica e o teor de argila, aumentando assim a retenção de água e conseqüentemente a umidade do solo (SOCIEDADE,

2004). Após essa dose, a saturação tendeu a se estabilizar. O aumento na saturação por bases deve-se, em especial, ao aumento do teor de Ca promovido pelo resíduo. O calcário também aumentou a saturação por bases em relação ao controle. Estes dados concordam com os obtidos em vasos por (BALBINOT *et al.* 2006 a). Solos com saturação de alumínio CTC efetiva maior que do que 20% causam limitações no rendimento do milho (CRUZ, 2008).

#### 6.2.4 Avaliação dos teores de zinco (Zn) e manganês (Mn)

Na figura 24 é apresentada a variação dos teores de Zn e na figura 25 dos teores de Mn no solo.

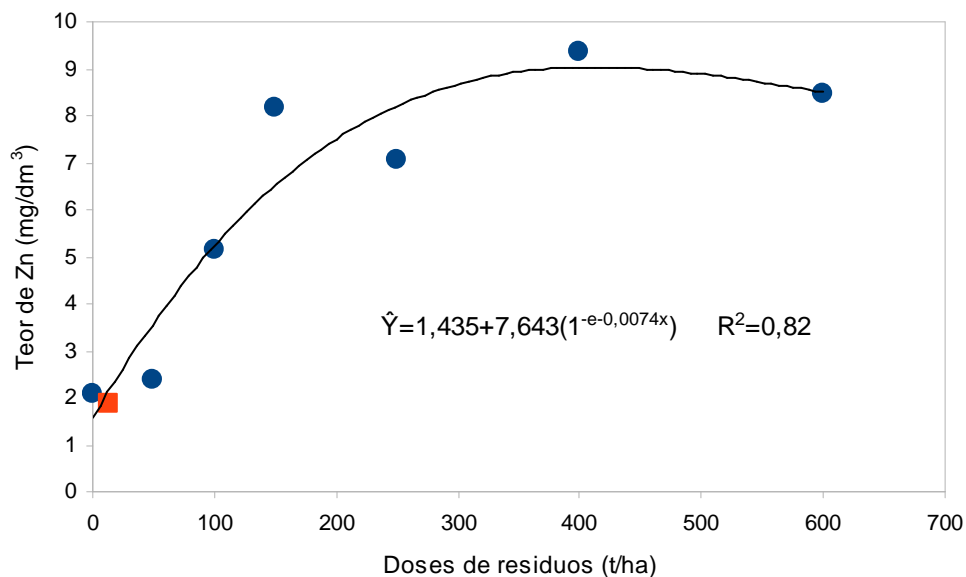


Figura 24. Teor de Zn no solo em decorrência da aplicação de diferentes doses de resíduo de reciclagem de papel (●) e com aplicação de calcário (■) (amostragem: março de 2009). Canoinhas, SC.

Houve aumento no teor de Zn com o acréscimo da dose do resíduo, até aproximadamente 400 t/ha (Figura 24). Após esta dose, o teor de Zn tendeu a se estabilizar. O aumento do teor de Zn no solo ocorreu devido à expressiva concentração desse elemento no resíduo (306 mg/kg) (Tabela 5). Enfatiza-se que o Zn é um micronutriente essencial às plantas, sendo responsável pela fotossíntese, como catalisador para reguladores de crescimento, na formação do AIA – Ácido Indol Acético, que desempenha papel no estímulo mitótico e no alongamento celular para o crescimento orientado das plantas (MARSCHNER, 1995).

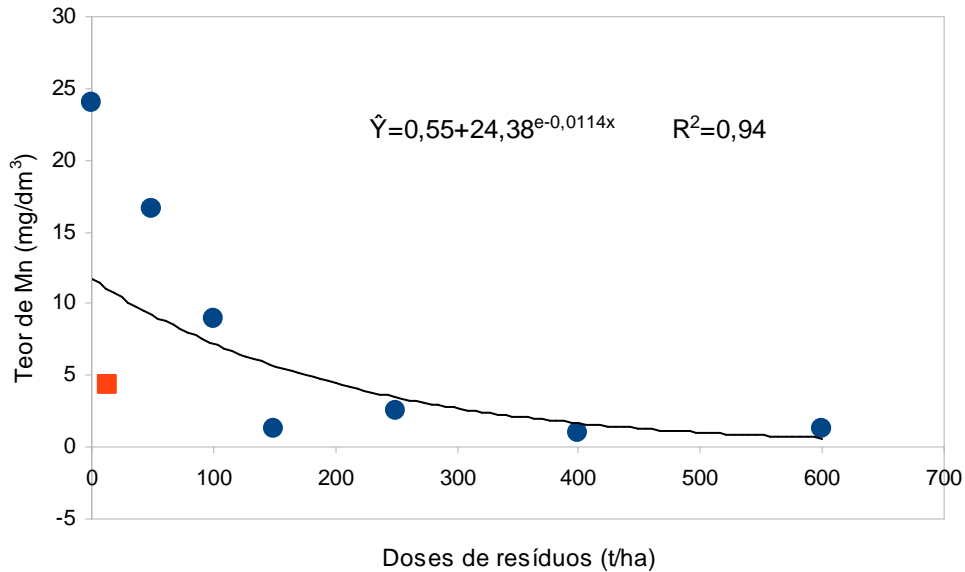


Figura 25. Teor de Mn no solo em decorrência da aplicação de diferentes doses de resíduo de reciclagem de papel (●) e com aplicação de calcário (■) (amostragem: março de 2009). Canoinhas, SC.

Constatou-se drástica redução nos teores de Mn no solo em decorrência da aplicação do resíduo e também do calcário (Figura 25), altos teores de Mn (acima de  $5 \text{ mg/dm}^3$ ) são tóxicos para o solo e as plantas (CRUZ, 2008). Já teores de Mn abaixo de  $2,5 \text{ mg/dm}^3$  são considerados baixos, mas raramente são observados em culturas anuais nos solos dos Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (SOCIEDADE, 2004). Em doses acima de 400 t/ha de resíduo úmido, os teores de Mn foram reduzidos a níveis próximos de  $2,5 \text{ mg/dm}^3$ .

#### 6.2.5 Avaliação dos teores de sódio (Na)

Os resultados dos teores de Na com a aplicação dos resíduos de papel no solo, são mostrados na figura.

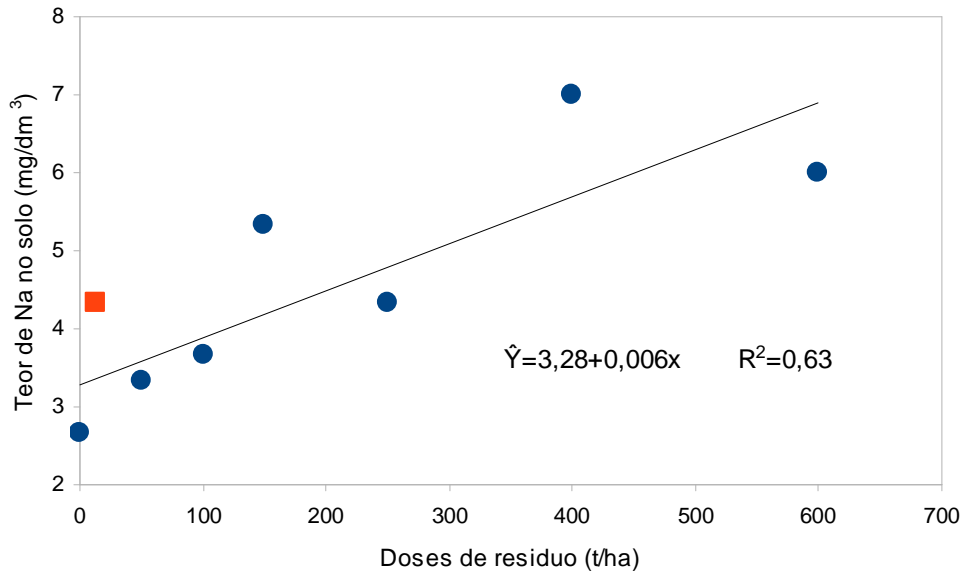


Figura 26 Teor de Na no solo em decorrência da aplicação de diferentes doses de resíduo de reciclagem de papel (●) e com aplicação de calcário (■) (amostragem: março de 2009). Canoinhas, SC.

Observou-se aumento linear no teor de Na com o acréscimo da dose de resíduo (Figura 26). Isso ocorreu porque o resíduo possui Na em sua composição (Tabela 5). Aumento excessivo de Na no solo pode ocasionar problemas como salinização e dispersão de argila, comprometendo a estrutura do solo. Contudo, o aumento do teor de Na observado no presente trabalho não ultrapassou o teor crítico desse elemento no solo, acima de 15% da CTC (FASSBENDER & BORNEMIZA, 1994).

### 6.3 Número de grãos por espiga, massa dos grãos e produtividade do milho

Nas figuras 27, 28 e 29 são apresentados respectivamente os dados referentes ao número de grãos por espiga massa dos grãos e produtividade do milho.

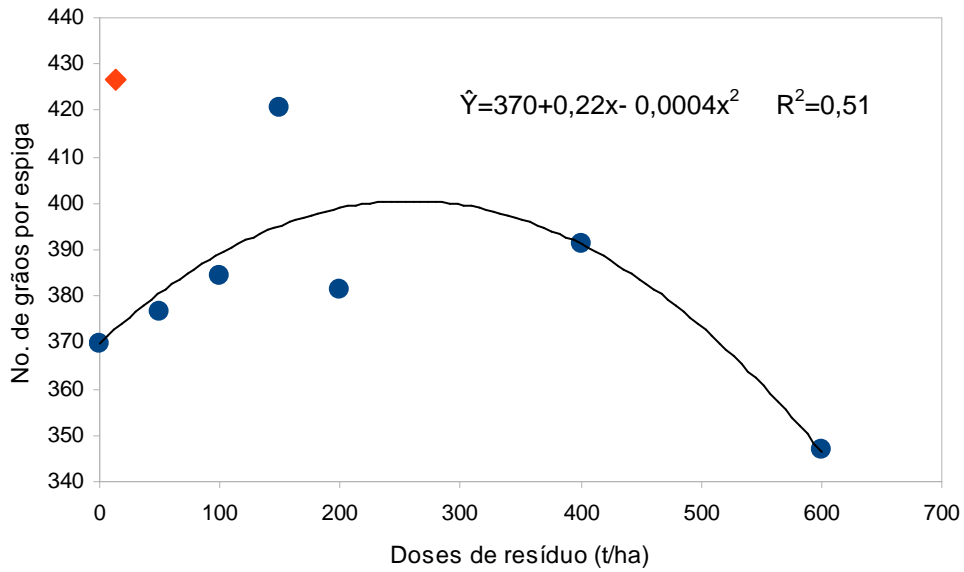


Figura 27. Número de grãos por espiga em diferentes doses de resíduo de reciclagem de papel (●) e com aplicação de calcário (◆). Canoinhas, SC.

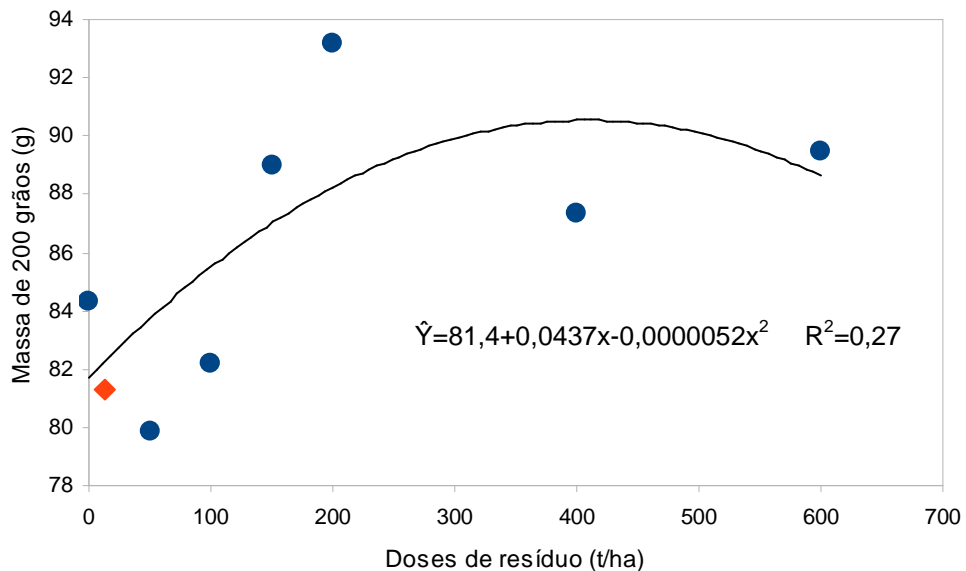


Figura 28. Massa de 200 grãos de milho em diferentes doses de resíduo de reciclagem de papel (●) e com aplicação de calcário (◆). Canoinhas, SC.

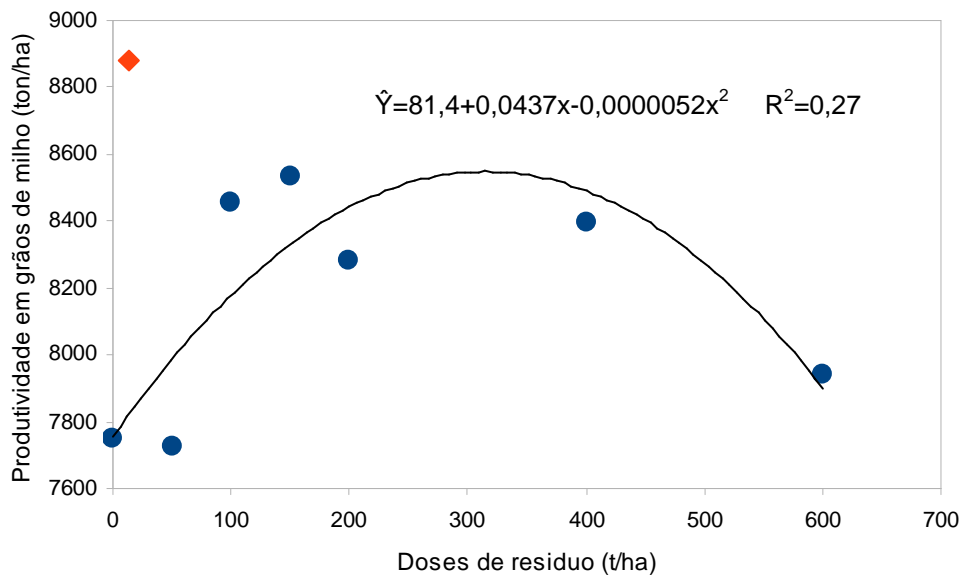


Figura 29. Produtividade de grãos de milho em diferentes doses de resíduo de reciclagem de papel (●) e com aplicação de calcário (◆). Canoinhas, SC.



Figura 30. Sintoma de deficiência de P em planta de milho  
Fonte: EMBRAPA, 2010

Provavelmente, devido à melhoria das condições químicas do solo proporcionada pelo resíduo, houve aumento do número de grãos por espiga até a dose de 275 t/ha (Figura 27); da massa de grãos, até a dose de 420 t/ha (Figura 28); e da produtividade de grãos até a dose de 308 t/ha (Figura 29).

Após a dose de 308 t/ha houve tendência de redução da produtividade em decorrência, principalmente, da redução da disponibilidade de P (Figura 20) e redução do teor de Mn (Figura 25) combinada com o aumento excessivo do pH.

No campo, nas doses de 400 e 600 t/ha de resíduo úmido, foram observados sintomas de deficiência de P (Figura 30) nas plantas de milho, essas folhas desenvolvem uma coloração púrpura ou avermelhada nas folhas inferiores e no caule, o que pode resultar em menor produção, menor qualidade, baixo preço e menor lucro da atividade (MITCHELL, 2001). Porém não foram observados sintomas de deficiência de Mn nas folhas de milho.

#### 6.4 Níveis de metais pesados no solo

As tabelas e figuras a seguir apresentam, os teores de metais pesados no solo e as determinações das legislações utilizadas como referência na discussão.

Tabela 10. Teores de metais pesados no solo em decorrência da aplicação de doses de resíduo de reciclagem de papel no solo e calcário dolomítico. Canoinhas, SC.

Tratamentos (t/ha)	Mercúrio (Hg)	Chumbo (Pb)	Níquel (Ni)	Cádmio (Cd)	Cromo (Cr)
	mg/kg				
0	0,057 <sup>ns</sup>	21,3 <sup>ns</sup>	14,3 <sup>ns</sup>	0,23 <sup>ns</sup>	34,67 <sup>ns</sup>
50	0,053	20,3	15,3	0,20	34,67
100	0,050	19,7	14,0	0,20	31,67
150	0,060	19,3	12,7	0,20	29,67
250	0,065	20,5	12,5	0,20	30,50
400	0,063	20,0	14,3	0,20	32,00
600	0,060	23,0	12,7	0,20	31,33
Calcário (13 t/ha)	0,063	17,3	14,3	0,20	27,67

Resultados expressos no material seco a 45°C.

Média de três repetições. Em cada repetição foram feitas duas determinações.

Mercúrio determinado em vapor frio e outros metais em ICP-OES.



Nas Diferenças não significativas a 5% de probabilidade de erro.

Tabela 11. Valores Orientadores de Metais Pesados para o Solo no Estado de São Paulo

Elemento	Uso Agrícola (APMax - Área de Proteção Máxima) no Solo (mg.kg <sup>-1</sup> de peso seco)
Cádmio	3
Chumbo	180
Cromo	150
Mercúrio	12
Níquel	70

Fonte: CETESB, 2005

Tabela 12. Teores máximos de metais pesados permitidos no solo pela Comunidade Européia (86/278/EEC)

Elemento	Máximo no Solo mg kg <sup>-1</sup>
Cádmio	1
Níquel	30
Chumbo	50
Mercúrio	1
Cromo	100

Fonte: Ferreira *et al.*, 1999

Tabela 13. Limites de metais permitidos no solo para uso em agricultura pela USEPA (Agência de proteção ambiental dos Estados Unidos)

Elemento	Máximo no Solo mg kg <sup>-1</sup>
Cádmio	39
Níquel	420
Chumbo	300
Mercúrio	17
Cromo	-

Fonte: USEPA, 1993

Sob a ótica ambiental do trabalho, verificou-se que a aplicação de resíduo de reciclagem de papel, mesmo nas maiores doses, não afetou os níveis de metais pesados no solo Tabela 10, ficando abaixo dos limites críticos estabelecidos pela CETESB (2005), Tabela 11; pela Diretriz da Comunidade Européia (Ferreira *et al.*,

1999), Tabela 12; e pela USEPA (Agência de proteção ambiental dos Estados Unidos) (1993), Tabela 13.

Os níveis de metais pesados no solo e os limites estabelecidos pelas legislações apresentadas, também podem ser observados mais claramente nas figuras 31, 32, 33, 34 e 35, onde os mesmos se apresentam de acordo com as normas. Somente na figura 35, a USEPA não apresenta dados referentes aos limites de cromo.

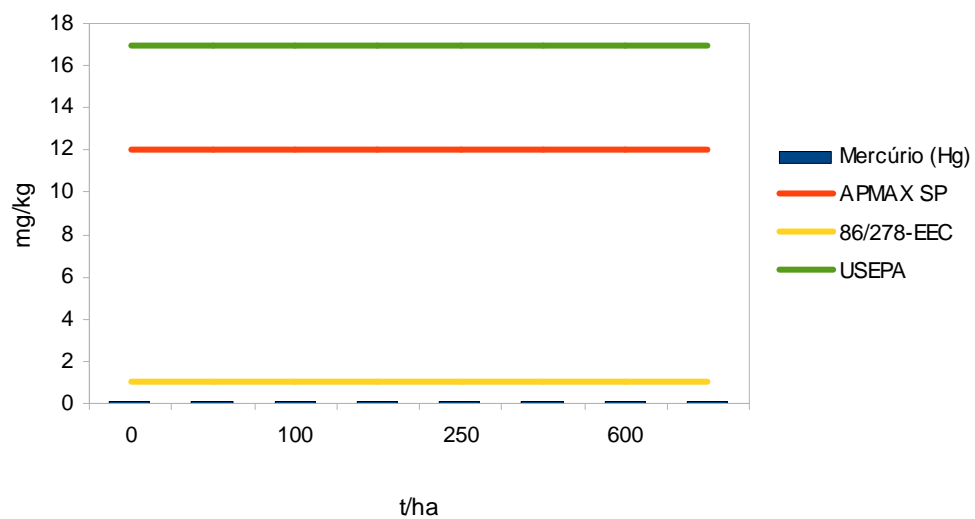


Figura 31. Níveis de mercúrio no solo X limites legislações

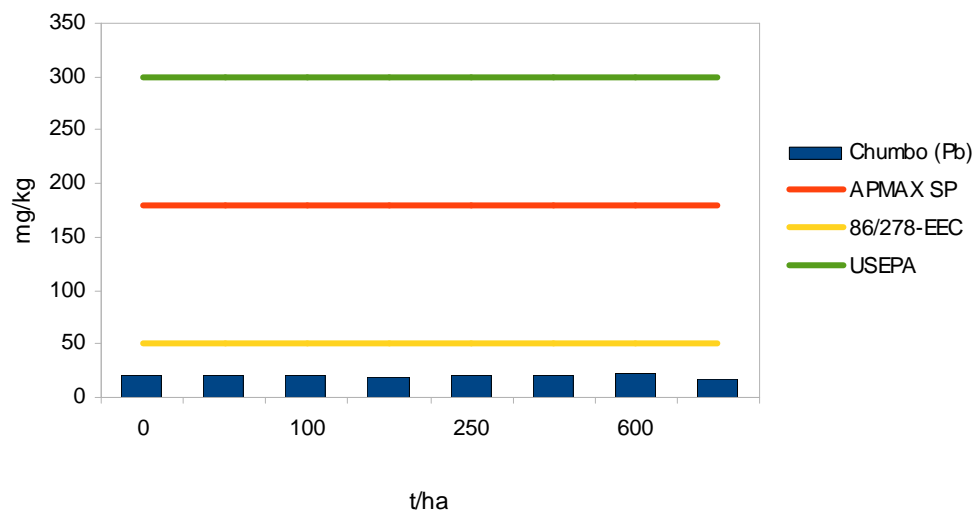


Figura 32. Níveis de chumbo no solo X limites legislações

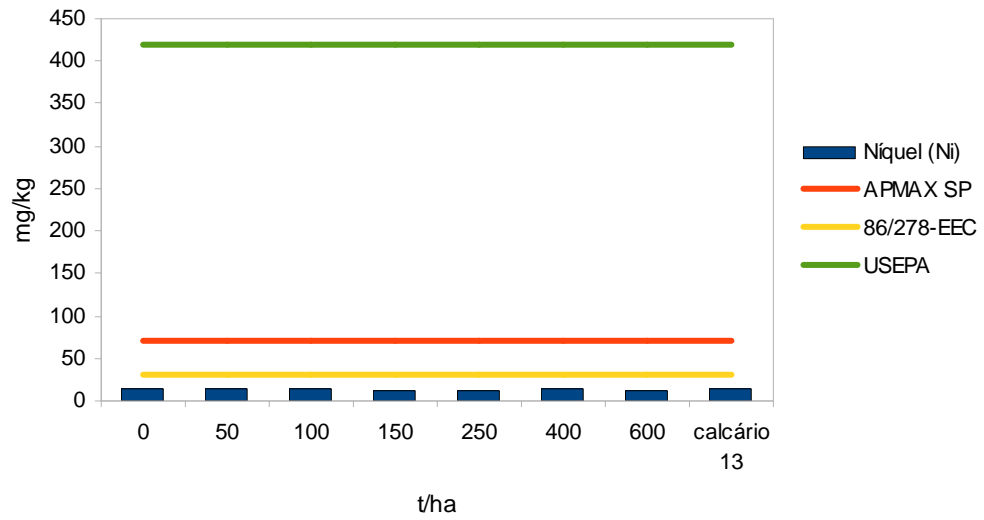


Figura 33. Níveis de níquel no solo X limites legislações

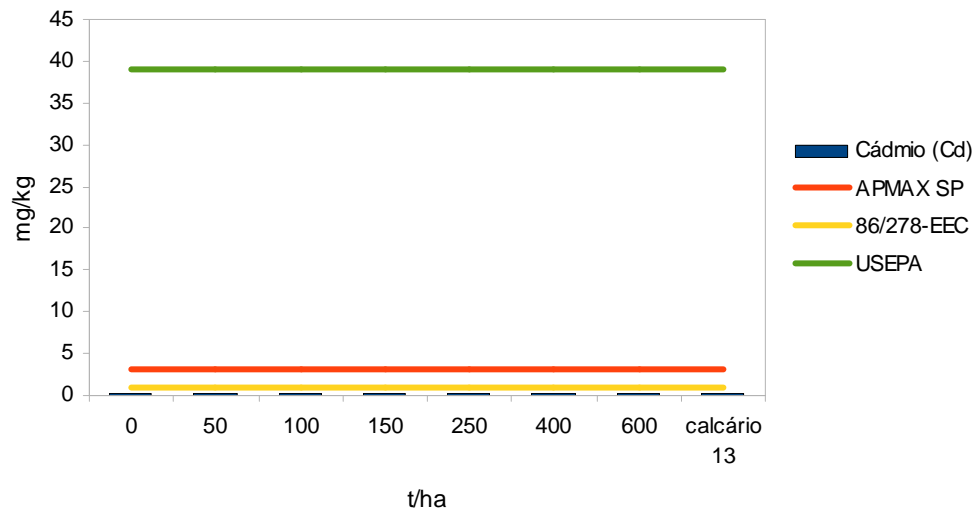


Figura 34. Níveis de cádmio no solo X limites legislações

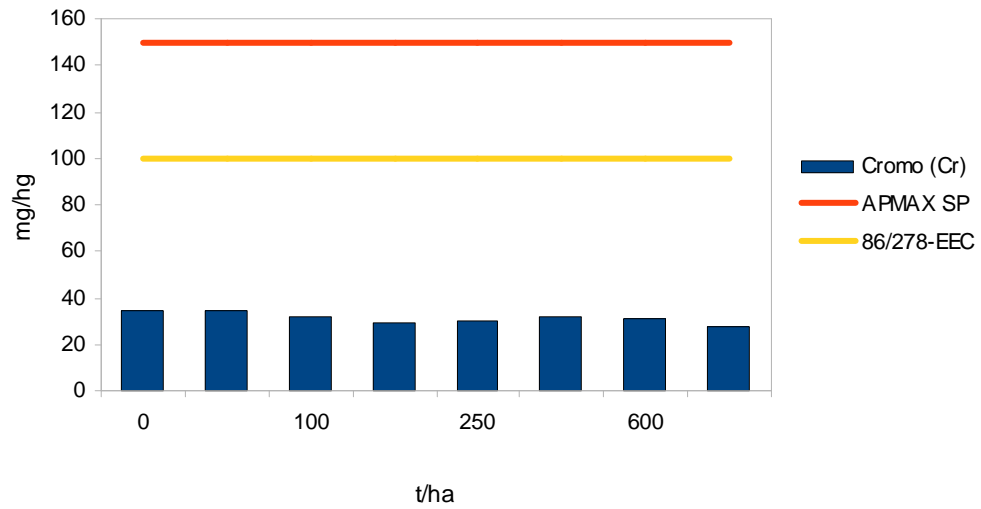


Figura 35. Níveis de cromo no solo X limites legislações

Resultados similares aos apresentados nesse trabalho, no tocante aos metais pesados, também foram obtidos em experimentos conduzidos em vasos, com aplicação de resíduo similar (BALBINOT Jr. *et.al.*, 2006a). Entretanto, ainda não há informações sobre a possibilidade de aumento de teores de metais pesados no solo em decorrência de reaplicação desse resíduo, seja incorporado ou em superfície.

## 6.5 Níveis de metais pesados nos grãos de milho

As tabelas e figuras a seguir, mostram os teores de metais pesados nos grãos de milho e as determinações das legislações utilizadas como referência na discussão.

Tabela 14. Teores de metais pesados em grãos de milho em decorrência da aplicação de doses de resíduo de reciclagem de papel no solo e calcário dolomítico. Canoinhas, SC.

Tratamentos (t/ha)	Mercúrio (Hg)	Chumbo (Pb)	Níquel (Ni)	Cádmio (Cd)	Cromo (Cr)
	mg/kg				
0	0,01ns	1,00ns	0,40ns	0,10ns	0,37ns
50	0,01	1,33	0,40	0,10	0,43
100	0,01	1,00	0,40	0,10	0,47
150	0,01	1,00	0,40	0,10	0,43
250	0,01	1,00	0,40	0,10	0,40
400	0,01	1,00	0,40	0,10	0,33
600	0,01	1,00	0,40	0,10	0,40
Calcário (13 t/ha)	0,01	1,00	0,40	0,10	0,40

Resultados expressos no material seco a 65°C.

Média de três repetições. Em cada repetição foram feitas duas determinações.

Nas Diferenças não significativas a 5% de probabilidade do erro.

Tabela 15. Contaminantes Inorgânicos e limites de tolerância em alimentos previstos pela ANVISA

Contaminantes Inorgânicos	Limite Máximo de Tolerância mg/Kg
Cádmio	1,00
Cromo	0,10
Mercúrio	0,01
Níquel	5,00
Chumbo	0,50

Fonte: ANVISA, 1965 - adaptado pelo autor

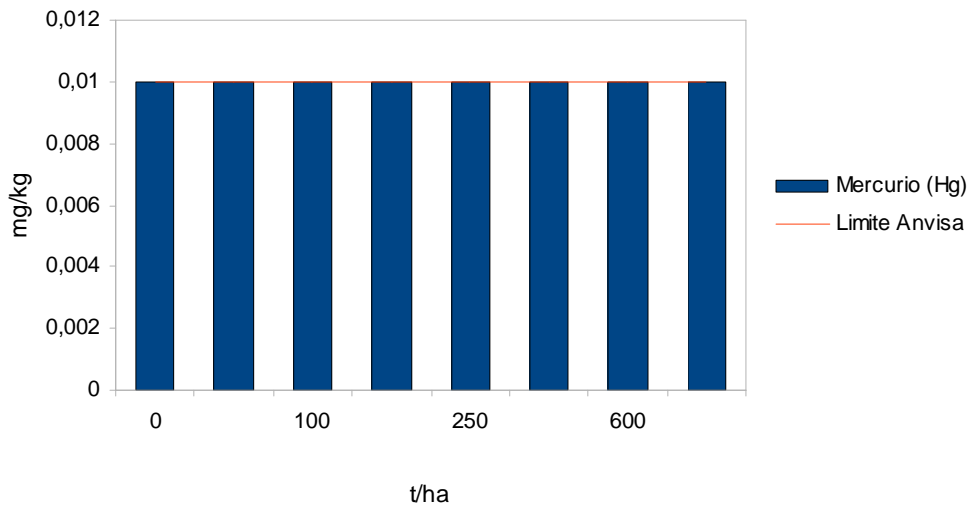


Figura 36. Teor de mercúrio nos grãos de milho X legislação

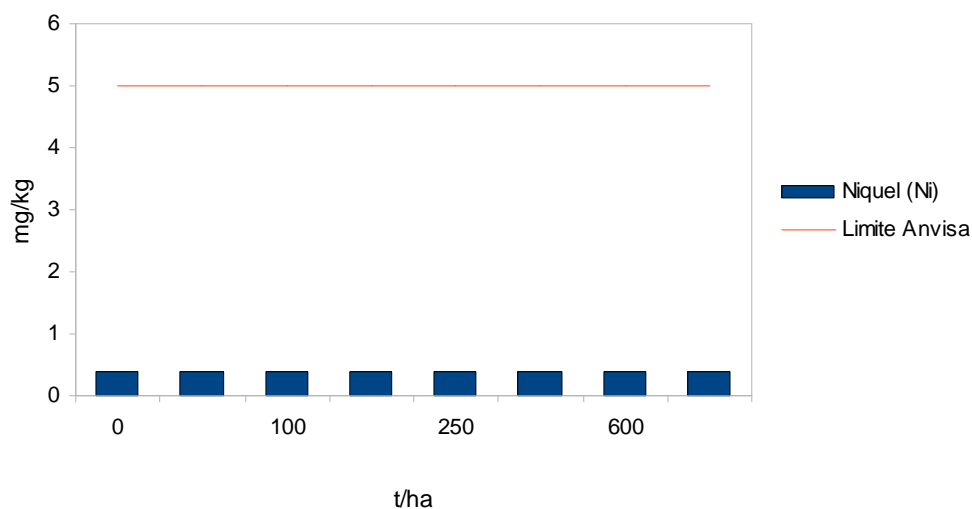


Figura 37. Teor de níquel nos grãos de milho X legislação

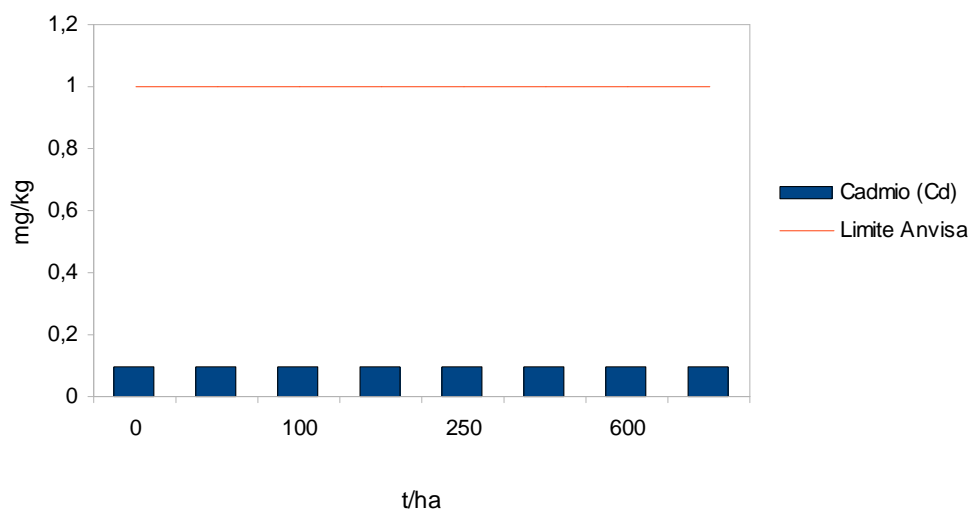


Figura 38. Teor de cádmio nos grãos de milho X legislação

Nos grãos de milho não houve aumento nos teores de metais pesados Mercúrio (Hg) e Níquel (Ni) e Cádmio (Cd) (Figuras 36, 37 e 38 respectivamente) em decorrência da aplicação de resíduo no solo, mesmo considerando as maiores doses (Tabela 14), ficando assim, dentro dos limites estabelecidos para níveis de contaminantes tolerantes em alimentos pela ANVISA (Tabela 15). Estes dados concordam com os obtidos por Balbinot *et al.* (2006).

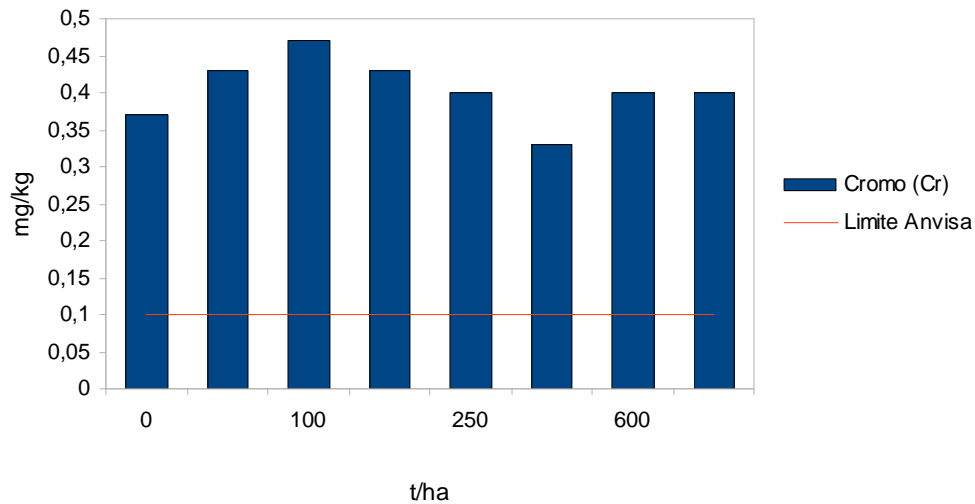


Figura 39. Teor de cromo nos grãos de milho X legislação

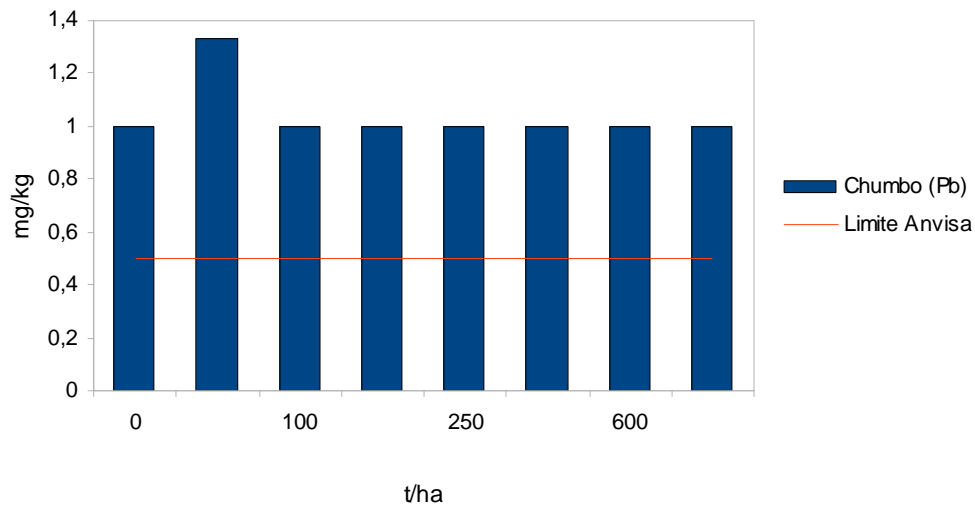


Figura 40. Teor de chumbo nos grãos de milho X legislação

Já os teores de Cromo (Cr) e Chumbo (Pb) (Figuras 39 e 40) para todos os tratamentos, inclusive no tratamento sem aplicação do resíduo ou calcário (Tabela 14) ficaram acima dos valores de contaminantes tolerantes em alimentos estabelecidos pela ANVISA (Tabela 15).

Resultados semelhantes foram encontrados por Nogueira *et al.* (2007) na avaliação dos teores de metais pesados em grãos de milho e de feijão consorciados



e adubados com lodo de esgoto. De acordo com estes autores, os teores de Pb e Cr em grãos de milho e de feijão caupi, apresentaram-se acima dos níveis permitidos, mesmo com a máxima adição anual e com os teores no solo dentro dos limites permitidos, evidenciando a necessidade de se estabelecer cargas anuais e teores de metais no solo para as condições tropicais.

O consumo de plantas contendo elevados níveis de metais pesados pode acarretar sérios riscos à saúde humana (SILVEIRA *et al.*, 2003). Além disso, a elevação nos níveis de metais pesados no ambiente pode influenciar na cadeia alimentar (BERTON, 2000; SILVEIRA *et al.*, 2003; BASTA *et al.*, 2005).

Para (Marques, 2002) as concentrações de metais pesados no sistema solo-planta são extremamente variáveis em função do tipo de solo e da planta estudada. É por isso que são encontradas espécies que se desenvolvem normalmente em solos contaminados com metais pesados ou mesmo que acumulam altos níveis de metais mesmo quando cultivadas em solos normais.

Para tanto, fica evidente que é necessário um acompanhamento mais prolongado sobre a avaliação dos efeitos desse resíduo em outras condições edáficas (relação solo-planta), dados que são indispensáveis para formulação de conclusões mais consistentes a respeito da ação desse resíduo sobre o ambiente.

## CONCLUSÕES

Os resultados alcançados neste trabalho nos leva a exprimir as conclusões que se seguem.

Os resultados dos valores obtidos da análise em base seca do resíduo 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 e CETESB –SP.

Observou-se também que o resíduo testado aumentou o potencial de hidrogênio (pH) do solo e em doses de resíduo úmido acima de 400 t/ha houve aumento excessivo de pH do solo. Portanto, há necessidade de atentar para as doses a serem usadas, pois superdosagens podem comprometer a qualidade do solo, sendo este efeito reversível somente após muitos anos.

O resíduo testado aumentou os teores dos seguintes parâmetros no solo:

- a) Fósforo (P);
- b) Cálcio (Ca);
- c) Cálcio/Magnésio (Ca/Mg);
- d) A saturação por bases do solo.

Com relação ao aumento da dose do resíduo aplicada ao solo, houve aumento dos teores de sódio (Na) e de zinco (Zn) e redução dos teores de manganês (Mn).

Alterações químicas observadas no solo em função da adição do resíduo propiciaram aumento da produtividade de grãos da cultura do milho até a dose de 308 t/ha de resíduo, ponto de máxima eficiência técnica, estimado com base no modelo ajustado, por meio de derivada. Doses superiores a esta reduziram a produtividade, provavelmente devido a menor disponibilidade de fósforo e manganês, combinada com o aumento excessivo do pH.

Verificou-se que a aplicação do resíduo de reciclagem de papel, mesmo nas maiores doses, não afetou os teores de mercúrio (Hg), chumbo (Pb), níquel (Ni), cádmio (Cd) e cromo (Cr) no solo. Salienta-se que, em todos os tratamentos, os teores de metais pesados avaliados ficaram abaixo dos limites críticos estabelecidos pela USEPA (1993), pela diretiva da Comunidade Européia e pela CETESB (2005)

Nos grãos de milho não houve aumento nos teores de metais pesados Cádmio (Cd); Mercúrio (Hg) e Níquel (Ni), estes ficaram dentro dos limites de tolerância estabelecidos pela ANVISA, porém os teores de Cromo (Cr) e Chumbo (Pb) para todos os tratamentos ficaram acima dos valores estabelecidos pelo mesmo órgão, inclusive no tratamento sem aplicação do resíduo ou calcário.

Tais resultados mostram que o responsável pela presença dos metais pesados nos grãos de milho provavelmente não foi o resíduo aplicado, pois mesmo nos tratamentos sem aplicação do resíduo houve contaminação dos grãos de milho.

Outro ponto do trabalho que merece uma abordagem mais aprofundada em um estudo futuro, pois evidencia um problema sério para a saúde humana e animal, é a relação entre as normas vigentes que estabelecem limites tanto para a deposição do resíduo no solo quanto as que regulamentam os níveis de substâncias inorgânicas nos alimentos.

## RECOMENDAÇÕES

Recomenda-se que a aplicação do resíduo testado só seja realizado com base em laudos confiáveis e preliminares de análise química de solo e que realmente comprovem  $\text{pH}_{\text{água}}$  inferior a 5,5.

Para os elementos Cromo (Cr) e Chumbo (Pb) que apresentaram concentrações superiores às permitidas pela legislação, sugere-se o monitoramento da área, ou seja, o acompanhamento das modificações das qualidades físicas do solo, dos organismos micro e macroscópicos responsáveis pela decomposição dos resíduos, assim como as alterações na biologia do solo. Sugere-se também que seja realizado teste de toxicidade aguda e crônica para verificar o efeito do resíduo sobre determinados organismos.

Aponta-se, além disso, a necessidade do acompanhamento da qualidade da água nos cursos de água adjacentes aos locais de aplicação de resíduos.

A concentração dos teores de metais e outros elementos presentes nos resíduos podem sofrer variações de acordo com a matéria-prima empregada e também da tecnologia de fabricação utilizada. Desta forma, o monitoramento dos resíduos gerados é importante, principalmente pelos teores dos metais e outros elementos com capacidade de ocasionar algum dano ao meio ambiente.

Portanto, quando se desejar utilizar o resíduo, faz-se necessário realizar um controle dos metais pesados nele presentes, quando estes estiverem presentes em quantidades superiores faz-se o destino apropriado, caso os limites estejam adequados faz-se o seu reciclo.

O resíduo ser compostado para posterior utilização.

Realizar trabalhos com a avaliação do resíduo em longo prazo.

## REFERÊNCIAS

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004:** Resíduos sólidos - classificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ABREU JR., C.H.; MURAOKA, T.; LAVORANTE, A.F. **Relationship between acidity and chemical properties of Brazilian soils.** Scientia Agricola, Piracicaba, v.60, p.337-343, 2003.

ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e de Resíduos Especiais. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2010.** São Paulo: Disponível em < <http://www.abrelpe.org.br/>>. Acesso em 30 de maio de 2011.

ABREU JUNIOR, C.H.; BOARETTO, A.E.; MURAOKA, T.; KIEHL, J.C. **Uso agrícola de resíduos orgânicos: propriedades químicas do solo e produção vegetal.** In: VIDALTORRADO, P.; ALLEONI, L.R.F.; COOPER, M.; SILVA, A.P.; CARDOSO, E.J. **Tópicos em Ciência do Solo**, Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 4, p. 391-470, 2005.

AGROESTE – **Híbridos de sementes milho.** Disponível em < [http://www.agroeste.com.br/pt\\_br/sementes\\_hibridos.php](http://www.agroeste.com.br/pt_br/sementes_hibridos.php)>. Acesso em 07 de junho de 2011.

ALBUQUERQUE, J. A.; SILVA, F. R.; GATIBONI, L. C.; MARANGONI, J. M. Propriedades físicas e químicas de solos incubados com resíduo alcalino da indústria de celulose. **Revista Brasileira de Ciência do Solo.** V. 26, n. 4, p.1065-1073, 2002.

ALCARDE, J.A.; GUIDOLIN, J.A.; LOPES, A.S. **Os Adubos e a Eficiência das Adubações.** São Paulo: ANDA, 1989. 35p. (ANDA. Boletim Técnico).

ALLOWAY, B.J. **Heavy metals in soils.** 2. ed. London: Blackie Academic & Professional, 1995. 368p.

ANDRADE, R.O.B.; TACHIZAWA, T. & CARVALHO, A.B. **Gestão ambiental: enfoque estratégico aplicado ao desenvolvimento sustentável.** São Paulo: Makron Books, 2002.

AMBIENTE BRASIL. Portal Ambiente Brasil S/S Ltda. Disponível em <<http://www.ambientebrasil.com.br>>. Acesso em 30 de abr. de 2010.

ANVISA. Decreto nº 55.871, de 26 de março de 1965. Disponível em: <[http://www.anvisa.gov.br/legis/decretos/55871\\_65.htm](http://www.anvisa.gov.br/legis/decretos/55871_65.htm)>. Acesso em: 13 jun. 2011.

ARACRUZ CELULOSE. Disponível em: <<http://www.aracruz.com.br/home.do>>. Acesso em: 05 maio. 2011.

ARAUJO, J.C.T.; NASCIMENTO, C.W.A. Fracionamento e disponibilidade de zinco por diferentes extratores em solos incubados com lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Vicosa, v. 29, n. 6, p. 977-985, nov./dez. 2005.

Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas – ABRAF – **Anuário Estatístico da ABRAF: ano base 2008**. Disponível em <<http://www.abraflor.org.br>> Acesso em: 25 de nov. 2009.

**Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel (ABTCP)**. 2004. Disponível em: <<http://www.abctp.org.br>>. Acesso em: 05 mar. 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL (BRACELPA). **Desempenho do setor em 2008 e Projeção para 2009**. São Paulo, 2008. Disponível em: <<http://www.bracelpa.org.br/bra/estatisticas/pdf/anual/rel2008.pdf>>. Acesso em: 23 mar. 2010.

BALBINOT JR., A.A; TÔRRES, A.N.L; FONSECA, J.A da *et al*. Alterações nas características químicas de um solo ácido pela aplicação de calcário e resíduo de reciclagem de papel. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, Lages, v.5, n.1, p16-25 2006a.

BALBINOT JR., A.A; TÔRRES, A.N.L; FONSECA, J.A da *et al*. Crescimento e teores de nutrientes em tecido de alface pela aplicação de calcário e resíduos de reciclagem de papel num solo ácido. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, Lages, v.5, n.1, p9-15 2006b.

BALBINOT JR., A. A.; VEIGA, M. ; FONSECA, J.A.; SOUZA, A.M. Acidez do solo e produtividade de milho afetadas pela aplicação de resíduo de reciclagem de papel

em solo ácido. In: VII Reunião Técnica Catarinense de Milho e Feijão, 2009, Xanxerê. VII Reunião Técnica Catarinense de Milho e Feijão, 2009. p. 208-212.

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO SOCIAL E ECONÔMICO (BNDES). **Produtos Florestais. Papéis para Fins Sanitários**. Fev. 2004. Disponível em: <<http://www.bndes.gov.br/conhecimento/setorial/tissue99.pdf>>. Acesso em: 23 mar. 2010.

BANCO REGIONAL DE DESENVOLVIMENTO DO EXTREMO SUL (BRDE) Agência de Florianópolis. Gerência de Planejamento Programa de suprimento florestal para a cadeia produtiva da madeira. Florianópolis: BRDE, 2010.

BASTA, N.T.; RYAN, J.A.; CHANEY, R.L. Trace element chemistry in residual-treated soil. *Journal of Environmental Quality*, Madison, v.34, p.49-63, 2005.

BELLIA, V. **Introdução a economia do meio ambiente**. Brasília: IBAMA, 1996.

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

BERTON, R.S. Riscos de contaminação do agroecossistema com metais pesados. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O.A. **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2000. p. 259-268.

BETTIOL, W.; CARVALHO, P.C.T.; FRANCO, B.J.D.C. Utilização do lodo de esgoto como fertilizantes. **O solo**, Piracicaba, v. 75, n. 1, p. 44-54, jan./jun. 1983.

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

BRASIL, 2004. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Decreto n° 4954 DOU 15/01/2004, sec 1, p. 2.

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

BRASIL. Política Nacional do Meio Ambiente. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. **Diário Oficial República Federativa do Brasil**. Brasília, DF, 02 ago. 2010.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. **Regras para análise de sementes**. Brasília, DF, 1992. 365 p.

BRESSANI, R. 1991. Protein quality of high lysine maize for humans. *Am. Assoc. Cereal Chem.*, 36 (9): 806-811.

BRITT, Kenneth H . **Handbook of pulp and paper technology**. New York: Reinhold, 1965.

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.

CARVALHO-PUPATTO, J.G.; BÜLL, L.T.; CRUSCIOL, C.A.C. Atributos químicos do solo, crescimento radicular e produtividade do arroz de acordo com a aplicação de escórias. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 12, p. 1213-1218, 2004.

CASEY, James P. **Pulp and Paper. Chemistry and Chemical Technology**. New York : John Wiley & Sons, 1980.

CELULOSE ON LINE Disponível em < <http://www.celuloseonline.com.br/> >. Acesso em 10 de maio de 2011.

CHANG, A.C.; HYUN, H.; PAGE, A.L. Cadmium uptake for swiss chard grown on composted sewage sludge treated field plots: plateau or time bomb **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 26, n. 1, p. 11-19, jan./feb. 1997.

CHILE. 2005. Ministério de Agricultura. Norma Chilena Oficial NCh 2088. Of 2004. Decreto Exento n 89 - Diário Oficial .22/02/2005.

COELHO, A. M; GONÇALO E. F.; 2010. **Nutrição e Adubação do milho** Disponível em: < <http://www.cnpms.embrapa.br/milho/deficiencia/deficiencia.html>>. Acesso em: 17 fev. 2011.



COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB). Decisão de diretoria N° 195-2005-E, de 23 de novembro de 2005. disponível em: < [http://www.cetesb.sp.gov.br/solo/relatorios/tabela\\_valores\\_2005.pdf](http://www.cetesb.sp.gov.br/solo/relatorios/tabela_valores_2005.pdf) >. Acesso em 15 de maio de 2011.

Companhia Nacional de Abastecimento – CONAB – Disponível em < <http://www.conab.gov.br/> >. Acesso em 10 de abr. de 2011.

COSTA, E.R.O.; **Alterações químicas no solo e na água de percolação após aplicação de resíduos de fábrica de papel reciclado em pinus taeda L.**, Pós Graduação em Engenharia Florestal. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2007.

COSTA, E.R.O.; RIZZI, N.E.; SILVA, H.D. *et al.* Alterações químicas do solo após aplicação de biossólidos de estação de tratamento de efluentes de fábrica de papel reciclado. **Floresta**, Curitiba, v.39, n.1, p.1-10, 2009.

CRUZ, J.C.;...[*et al.*]. **A Cultura do Milho** - Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2008. 517p.

DRUMMOND, D. M. D. **Otimização para o posicionamento dos equipamentos do circuito de massa na fabricação de papel Tissue.** Pós graduação em Engenharia Química. Universidade Estadual de Campinas. São Paulo, 2004.

ELLIOTT, H.A., LIBERATI, M.R., HUANG, C.P. Competitive adsorption of heavy metals by soils. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 15, n. 3, p. 214-217, 1986.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** Brasília: Embrapa Produção da Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412p.

\_\_\_\_\_. 2010, Disponível em: < [www.embrapa.br/](http://www.embrapa.br/)>. Acesso em: 24 de maio 2010.

EPA (US Environmental Protection Agency). 1993. Federal Register: February 19, 1993. 40 CFR Parts 257, 403, and 503. The Standards for the Use or Disposal of Sewage Sludge. Final Rules.

ERNANI, P. R.; NASCIMENTO, J. A. L.; CAMPOS, M.L. ; CAMILLO, R.J. Influência da combinação de fósforo e calcário no rendimento de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 3, p. 537-544, 2000.

ESCOSTEGUY, P.A.V. Poluição do solo com metais. In: AZEVEDO, A.C.; DALMOLIN, R.S.D.; PEDRON, F.A. **I Fórum Solos & Ambiente**. Santa Maria: Pallotti, 2004. cap. 4, p. 54-78.

ESCOSTEGUY, P.A.V.; PARCHEN, C.A.P.; SELBACH, P.A. Bactérias enteropatogênicas em compostos de lixo domiciliar, solo e planta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 17, n. 3, p. 365-369, set./dez. 1993.

EU. 1986. Council Directive 86/278/EEC. 12 June 1986. On the protection of the environment, and in particular of the soil, when sewage sludge is used in agriculture. Official Journal, Issue L 181, p. 6-12.

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: <[www.brasilsustentavel.org.br/textos/texto9.rtd](http://www.brasilsustentavel.org.br/textos/texto9.rtd)>. Acesso em: 22 mar. 2010.

FASSBENDER, H.W.; BORNEMIZA, E. **Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina**. 2. ed. San José: IICA, 1994, 420p.

Federação da Agricultura e Pecuária do Estado de Santa Catarina - FAESC Disponível em <[www.senar.com.br/portal/faesc/portal.php](http://www.senar.com.br/portal/faesc/portal.php)> Acesso em: 23 de nov. 2009.

Federação das Indústrias do Estado de Santa Catarina, Santa Catarina em Dados / Unidade de Política Econômica e Industrial. -Florianópolis: FIESC, 2009. Disponível em <[www.fiescnet.com.br/pei](http://www.fiescnet.com.br/pei)> Acesso em: 18 de nov. 2009.

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 nov. 2009.

FERREIRA, A.C.; ANDREOLI, C.V.; LARA, A.I. Riscos associados ao uso de lodo de esgoto. In: PROGRAMA DE PESQUISA EM SANEAMENTO BÁSICO – PROSAB. **Uso e manejo de lodo de esgoto na agricultura**. Rio de Janeiro, 1999, p.29-33.  
FRASER, C.M. **The Merck veterinary manual**. Toxicology Part VII. 6. ed. Rahway, Merck and Co. Inc., 1986. p. 1328-1413, 1645-1611.

GOMES, J. I.; SAMPAIO, S. S.; Resíduos de serraria viraram briquetes. **Revista da Madeira**, v.10, n.56, p.26 –28, 2001.

GOMES, S.B.V.; NASCIMENTO, C.W.A.; BIONDI, C.M.; ACCIOLY, A.M.A. Distribuição de metais pesados em plantas de milho cultivadas em Argissolo tratado com lodo de esgoto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 6, p. 1689-1695, nov./dez. 2006.

GUPTA, U.C.; GUPTA, S.C. Trace element toxicity relationships to crop production and human health: implications for management. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 29, n.11&14, p. 1491-1522, jun./jul. 1998.

HART, S.L. *A natural-resource-based view of the firm. Academy of Management Review*, v. 20, n. 4, p. 986-1014, Oct. 1995.

HUNT, C.B. & AUSTER, E.R. *Proactive environmental management: avoiding the toxic trap. Sloan Management Review*, v. 31, n. 2, p. 7-18, winter, 1990.

*ICP Emission Spectrometry. A Practical Guide.* Nölte, J. Wiley-WCH. Weinheim, Germany. 2003. 267 p.

Instituto de Planejamento e Economia Agrícola de Santa Catarina - ICEPA - **Milho**. Florianópolis, 2010. 72p. (Estudo de Economia e Mercado de Produtos Agrícolas), Disponível em: < <http://cepa.epagri.sc.gov.br/>>. Acesso em: 05 abr. 2011.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, Manual Técnico de Pedologia 2ª edição, 316p. Rio de Janeiro, 2007.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – Disponível em: < <http://www.ibge.gov.br> >. Acesso em: 05 abr. 2010.

KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. **Trace Elements in Soils and Plants**. Boca Raton: CRC Press. 1992. 365p.

KIEHL, E.J. **Manual de Compostagem: maturação e qualidade do composto**. 4. ed. Piracicaba: E. J. Kiehl, 2004. 173p.

KIM, S.J.; CHANG, A.C.; PAGE, A.L.; WARNEKE, J.E. Relative concentrations of cadmium and zinc in tissue of selected food plants grown on sludge-treated soils. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 17, n. 4, p. 568-573, oct./dec. 1988.

Lima, N. R., & Piazza, V. R. **Impacto Ambiental das Indústrias de Celulose e Papel**. II Simpósio Internacional de Qualidade Ambiental, Porto Alegre, p. 59-65, 1998.

LEVINE, M.B.; HALL, A.T.; BARRETT, G.W.; TAYLOR, D.H. Heavy metal concentrations during ten years of sludge treatment to an old-field community. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 18, n. 4, p. 411-418, 1989.

LOGAN, T.J.; CHANEY, R.L. **Metals**. In: Workshop on Utilization of Municipal Wastewater and Sludge on Land, 1983. Riverside: University of California, 1983. p. 235- 323.

LOPES, J.C.; RIBEIRO, L.G.; ARAUJO, M.G.; BERALDO, M.R.B.S. Produção de alface com doses de lodo de esgoto. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 23, n. 1, p. 143-147, jan./mar. 2005.

LUCENA, L.F.C.; OLIVEIRA, F.A.; DA SILVA, I.F.; ANDRADE, A.P. Resposta do milho a diferentes dosagens de nitrogênio e fósforo aplicados no solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 4, n.3, p. 334 -337, 2000.

LUCCHESI, L.A.C. Características dos biossólidos e efeitos de sua reciclagem em ambientes edáficos com ênfase na dinâmica de elementos traço. In: SEMINARIO SOBRE GERENCIAMENTO DE BIOSSOLIDOS DO MERCOSUL, 1., 1998, Curitiba. **Anais...** Curitiba: SANEPAR/ABES, 1998. p. 77-83.

MACDONALD, Ronald G. **Papermaking and paper board making**. New York: McGraw – Hill, 1970.

MALAVOLTA, E. **Avaliação do estado nutricional das plantas – princípios e aplicações**. Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato. 2ª edição. Piracicaba, 1997.

MARQUES, M.O.; MELO, W.J.; MARQUES, T.A. Metais Pesados e o Uso de Biossólidos na Agricultura. 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. 365-403.

MARSCHNER, H. **Mineral Nutrition of Higher Plants**. London: Academic Press, 1995. 888p.

MARTINEZ, H.E.P.; HAAG, H.P. Níveis críticos de fósforo em *Brachiaria decumbens* (Stapt) Prain, *Brachiaria humidicola* (Rendle) Schweickerdt, *Digitaria decumbens* Stent, *Hyparrhenia rufa* (Ness) Staf., *Melinis minutiflora* Pal de Beauv., *Panicum maximum* Jacq. e *Pennisetum purpureum* Schum. **Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"**, v.37, n.1, p.913-977, 1980.

MATTOS, R. L. G.; VALENÇA, Antonio Carlos de Vasconcelos. A Reestruturação do setor de papel e celulose. **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, n. 10, p. 253-268, set. 1999

MITCHELL, J. A review of tracer studies in Saskatchewan on the utilization of phosphates by grain crops. **Journal of Soil Science**, v.8, p.73-85, 2001.

MIYAZAWA, M.; KAMAGAWA, M.Y.; MATTOS, M.S.; MORAES, S.R.; PARRA, M.S. Lixiviação de metais pesados do lodo de esgoto no solo. **Sanare**, Curitiba, v. 5, n. 5, p. 63-67, 1996.

MOREIRA; A. E. MALAVOLTA; A.C. VIRGENS FILHO; R.L.V.A. SILVEIRA; J. B. R. ABREU **Avaliação da disponibilidade do fósforo no solo por métodos isotópico, químicos e biológico**. Sci. agric. vol. 54 n. 1-2 Piracicaba Jan./Aug. 1997.

NASCIMENTO, A.M.; SILVEIRA A.P.C.; COSTA, K.; RIEHL. L.A.S.R.; SANTOS, Z. A.M. **Reciclagem de Lixo e Química Verde**, Curso de Formação Continuada – Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias – Secretaria do Estado de Educação, São Paulo, 2005.

National Research Council (Board on Science and Technology for International Development). 1988. Quality-protein maize. National Academy, Washington, D.C. 100 p.

NOGUEIRA, T.A.R.; SAMPAIO, R.A.; FONSECA, I.M.; FERREIRA, C.S.; SANTOS, S.E.; FERREIRA, L.C.; GOMES, E.; FERNANDES, L.A. Metais pesados e patogenos em milho e feijao caupi consorciados, adubados com lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 3, p. 331-338, maio/jun.2007.

NOLASCO, A. M.; GUERRINI, I. A.; BENEDETTI, V. Uso de resíduos urbanos e industriais como fonte de nutrientes e condicionadores de solos florestais. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. (Org.) **Nutrição e fertilização florestal**. 1. ed. Piracicaba: IPEF. 2000, p. 385-414.

NRC - National Research Council Biosolids Applied to Land Advancing Standards and Practices National Academy Press Washington DC 2002 266 p.

OLANDOSKI, D. P. **Rendimento, resíduos e considerações sobre melhorias no processo em indústria de chapas compensadas**. Curitiba, 2001. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, 2001.

OLIVEIRA, H.J.; ERNANI, P.R.; AMARANTE, C.V. Alteração na composição química das fases sólida e líquida de um solo ácido pela aplicação de calcário e gesso agrícola. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v.1, p.93-101, 2002.

PERECIN, L. Reciclar é Preciso. **O Papel**, São Paulo, v. 66, n. 10, p. 56-64, 2005.

PIN, CLODOALDO DE. **Características de Papéis Reciclados e suas particularidades na Produção de massa para Produção de Papel Tissue.**, Pós Graduação em Tecnologia de Celulose e Papel. Universidade Federal de Viçosa. Minas Gerais, 2009.

PHILIPP, Paul. **Celulose e Papel – Tecnologia de fabricação da pasta celulósica**. São Paulo : ITP, 1988.

PIRES, A.M.M. **Ácidos orgânicos da rizosfera: aspectos qualitativos e quantitativos e fitodisponibilidade de metais pesados originários de biosólidos**. 2003. 94 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutricao de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de Sao Paulo, Piracicaba, 2003.

POSONSKI, M; **Impactos silviculturais, ambientais e econômicos do descarte de resíduos de madeira em plantios de *Pinus Elliotii***, Dissertação de Mestrado UFPR. 66 pp.; 2005.

PRADO, R.M. Saturação por bases e híbridos de milho sob sistema de plantio direto. **Scientia Agrícola**, piracicaba, v. 58, n. 2.p. 391-394, 2001.

RAIJ, B. van. Uso agrícola de biossólidos. In: SEMINARIO SOBRE GERENCIAMENTO DE BIOSSOLIDOS DO MERCOSUL, 1., 1998, Curitiba. **Anais...** Curitiba: SANEPAR/ABES, 1998. p. 147-151.

Relação Anual de Informações Sociais – RAIS – Ministério do Trabalho e Emprego Disponível em <<http://www.rais.gov.br>> Acesso em: 13 de jul. 2010.

RIBEIRO, M.S. **Contabilidade e meio ambiente**. 1992. 141 f. Dissertação (Mestrado em Contabilidade) – Curso de Pós-Graduação em Contabilidade, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1992.

ROSOLEM, C.A.; MACHADO, J.K.; BRINHOLI, O. Efeito das relações Ca/Mg, Ca/K e Mg/K do solo na produção de sorgo sacarino. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.19, n.12, p.1443-1448, dez. 1984.

SBS - Sociedade Brasileira de Silvicultura – **Fatos e Números do Brasil Florestal** Acesso em < [www.sbs.org.br](http://www.sbs.org.br) > Acesso em: 25 de nov. 2009.

SILVA, F. R.; ALBUQUERQUE, J. A.; GATIBONI, L.C.; MARANGONI, J.M. Cinza de Biomassa Florestal: Alterações nos atributos de solos ácidos do planalto norte catarinense e em plantas de eucalipto, **Scientia Agraria**, Curitiba, v.10, n.6, p.475-482, Nov./Dec. 2009.

SILVEIRA, M.L.A.; ALLEONI, L.R.F.; GUILHERME, L.R.G. Biosolids and heavy metals in soils. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.60, p.793- 806, 2003.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. **Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 10.ed. Porto Alegre, RS: SBCS/Núcleo Regional Sul; Comissão de Química e Fertilidade do Solo – RS/SC, 2004, 394p.

TAIZ, L., ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 3ª edição. Editora Artmed, 2004, 719p.

TANAKA, R.T.; MASCARENHAS, H.A.A.; BULISANI, E.A. Deficiência de manganês em soja induzida por excesso de calcário. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.27, n.2, p.247-250, 1992.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C; BISSANI, C.A. *et al.* **Análise de solo, plantas e outros materiais.** 2 ed. Porto Alegre: Depto Solos da UFRGS. 1995. 174 p. (Boletim Técnico nº 5).

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](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/>>. Acesso em: 20 Nov. 2010.

USEPA. **Method 3051 A.** 1998b. Disponível em: <<http://www.epa.gov/SW-846/3051a.pdf>> Acesso em: 10 de mar. 2010.

USEPA. **Method 7471 A.** 1998b. Disponível em: <<http://www.epa.gov/SW-846/7471a.pdf>> Acesso em: 10 de mar. 2010.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - USEPA. Final rules: Standards for the use or disposal of sewage sludge, 1993. Part 503.

Young, V. R. & P. L. Pellett. 1994. Plant proteins in relation to human protein and amino acid nutrition. *Am. J. Clin. Nutr.*, 59 (suppl.): 1203S-1212S.

WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT (WBCSD). **Um futuro em transformação para o papel: seu impacto na sociedade e no meio ambiente, como a indústria do papel pode gerenciar estas mudanças, formas de tornar mais sustentável o ciclo do papel.** Genebra, Suíça: WBCSD, 1999. 31p, il. Tradução de: *Towards a sustainable paper cycle*