



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM QUÍMICA

**APROVEITAMENTO DO RESÍDUO DA INDÚSTRIA DE CELULOSE NO
CULTIVO DO BAMBU**

ELIZA ROSÁRIO GOMES MARINHO DE ALBUQUERQUE

RECIFE - PE
FEVEREIRO - 2011

ELIZA ROSÁRIO GOMES MARINHO DE ALBUQUERQUE

**Aproveitamento do Resíduo da Indústria de Celulose no Cultivo do
Bambu**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Química como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Química pela Universidade Federal Rural de Pernambuco.

Orientador

Prof. PhD Egídio Bezerra Neto

Co-orientadores

Prof. Dr. Levy Paes Barreto

Prof. Dr. Mário Monteiro Rolim

**RECIFE - PE
FEVEREIRO - 2011**

ELIZA ROSÁRIO GOMES DE ALBUQUERQUE

APROVEITAMENTO DO RESÍDUO DA INDÚSTRIA DE CELULOSE NO
CULTIVO DO BAMBU

Dissertação aprovada pela banca examinadora em:

17/02/2011

Orientador:

Prof. Egídio Bezerra Neto, PhD.
DQ/UFRPE

Examinadores:

Prof. Mário Monteiro Rolim
DEA/UFRPE

Prof. Ênio Farias França e Silva
DEA/UFRPE

Prof. José Antônio Aleixo da Silva
DCFL/UFRPE

Suplente:

Prof. Mercia Virginia Ferreira dos Santos
DZ/UFRPE

“ One today is worth two tomorrows”

Ben Franklin

**Aos meus pais, Maria Bernardete e João Pereira, à
minha irmã Rafaela, ao meu marido Adolfo Marinho e
a todos os meus familiares e amigos,**

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a DEUS pela oportunidade.

Ao Orientador Professor Egídio Bezerra Neto pelo apoio e presteza no auxílio às atividades e discussões sobre o trabalho. Aos meus co-orientadores Professores Levy Paes Barreto e Mário Monteiro Rolim pelos valiosos conselhos. Ao Professor José Benjamin pelo grande incentivo, amizade e contribuições neste trabalho.

Ao Professor Ênio Farias França e Silva, por sua valiosa contribuição no exame de qualificação.

Especialmente a Maria do Socorro, pelo grande incentivo a participação de atividades de iniciação científica, pela confiança e pela expectativa de conquistas depositadas em mim.

Aos amigos do AQUAPONIC que sempre estiveram presentes contribuindo pela realização deste trabalho, Fábio (*In Memoriam*), João, Rômulo, Leonardo Marenga, Rafaela, Yuri, Leandro, Márcio, Andréa, Camila e Rafael pela valiosa companhia e ajuda nos trabalhos e pelos momentos de descontração.

Aos amigos da Área de Química Agrícola: Lindomar, Thiago, Ana Maria, Professor Hélio, Narciso, Gil, o grande Júlio e aos amigos que ganhei pela UFRPE. A Ana Amâncio pelos “puxões de orelha”.

Ao trio de meninas Priscila, Suzana e em especial Patrícia, pela paciência em atender meus chamados de desespero em qualquer dia a qualquer hora. A todos os amigos que me acompanharam durante todo esse trabalho.

À minha mãe, meu pai e minha irmã, que foram sempre incentivadores de meu trabalho e em especial ao meu marido Adolfo pela paciência em tolerar a minhas crises de estresse e, muitas vezes, minha ausência por conta dos trabalhos. Aos meus familiares, que me incentivaram e apoiaram.

A empresa AGRIMEX, em nome do MSc. em Engenharia Florestal German Hugo Gutierrez Céspedes, pelo material vegetal fornecido, pelo auxílio no desenvolvimento do trabalho e pela amizade conquistada ao longo desse tempo.

A todos os professores e funcionários da UFRPE, que contribuíram nesta etapa da vida.

À Universidade Federal Rural de Pernambuco, pela oportunidade e condições de realização deste trabalho e a CAPES pela concessão da bolsa de estudos.

Obrigada!

SUMÁRIO

SUMÁRIO	i
LISTA DE FIGURAS E TABELAS	iii
1. INTRODUÇÃO GERAL	11
2. OBJETIVOS	13
2.1. Objetivo Geral	13
2.2. Objetivos Específicos	13
3. REVISÃO DE LITERATURA	14
3.1. EMISSÃO DE RESÍDUOS	14
3.2. CARACTERÍSTICAS GERAIS DO BAMBU	15
3.3. PARTICULARIDADE DO <i>Bambusa vulgaris</i>	16
3.4. CONSIDERAÇÕES SOBRE A NUTRIÇÃO MINERAL DO BAMBU	17
3.5. APLICAÇÕES E CONSUMO DO BAMBU	18
3.6. SUBPRODUTO DA INDÚSTRIA DE PAPEL E CELULOSE LAMA DE CAL NA ATIVIDADE FLORESTAL	19
3.7. PRESENÇA DE METAIS PESADOS NA LAMA DE CAL	23
4. LITERATURA CITADA	25
5. CAPITULO I: CRESCIMENTO E NUTRIENTES MINERAIS DO BAMBU EM RESPOSTA À APLICAÇÃO DE RESÍDUO INDUSTRIAL	30
RESUMO	31
ABSTRACT	32
5.1. INTRODUÇÃO	33
5.2. MATERIAL E MÉTODOS	34
5.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
5.4. CONCLUSÕES	43
5.5. AGRADECIMENTOS	43
5.6. LITERATURA CITADA	43
6. ANEXOS	46

**6.1 REGRAS PARA ENVIO DE TRABALHO PARA A REVISTA AGRIAMBI
(REVISTA BRASILEIRA DE ENGENHARIA AGRÍCOLA E AMBIENTAL)**

..... 46

LISTA DE FIGURAS E TABELAS

Quadro 1. Resíduos gerados na produção de papel	18
Tabela 1. Quantidade da lama de cal correspondente a cada tratamento do experimento em casa de vegetação	34
Tabela 2. Análise química e física do solo utilizado no experimento	35
Tabela 3. Caracterização química do resíduo lama de cal empregado no experimento	36
Tabela 4. Número de folhas, altura da haste principal e número de brotos encontrados em bambus cultivados com diferentes doses lama de cal durante 90 dias	38
Tabela 5. Biomassa fresca e seca em bambus cultivados com diferentes doses lama de cal durante 90 dias	39
Tabela 6. Elementos minerais analisados em folha e colmo de bambu cultivados com diferentes doses lama de cal durante 90 dias	40
Tabela 7. Micronutrientes analisados em folha e colmo de bambu cultivados com diferentes doses lama de cal durante 90 dias	42

1. INTRODUÇÃO GERAL

O crescente uso de tecnologia na indústria tem aumentado de forma muito rápida. Esse crescimento além de trazer muitos benefícios e facilidades na produção e aumento da mesma também tem originado uma preocupação muito grande com o reaproveitamento de rejeitos provenientes do modo de produzir. Há mais de três décadas atrás, Pawlowsky (1976) já fazia referência ao aproveitamento de resíduos industriais, observando que os despejos podem ser considerados como matéria prima de custo baixo, e que sua recuperação proporcionaria um incremento na produção. Esse autor afirma ainda que, dificilmente, o reaproveitamento de resíduos seria menos vantajoso do que o seu tratamento.

Na indústria de celulose e papel, ocorre a geração de um resíduo, descrito por Bergamin et al. (1994) como originário da etapa de caustificação, no processo de recuperação do licor de cozimento, no qual é utilizada a cal hidratada. Esporadicamente, o forno de cal sofre um descarte de uma "lama de cal", sólida e de coloração cinza claro, homogênea e sem odor característico.

De acordo com Heiman (1981), Barros et al. (1990) e Barros et al. (2000), muitas florestas são limitadas em seu crescimento devido às deficiências nutricionais, as quais podem ser supridas com a aplicação de resíduos. Os resíduos oriundos de celulose e papel estão sendo usados de forma positiva no condicionamento e nutrição do solo, melhorando as propriedades necessárias para o desenvolvimento da cultura florestal (Guerrini et al., 1994; Bellote et al., 1994).

O Brasil é o único país da América do Sul a ter uma indústria que usa o bambu como matéria prima para o fabrico de papel de alta resistência, esse beneficiamento e a produção de papel são feitos na CEPASA - Celulose e Papel de Pernambuco S.A., e em resposta a essa necessidade de matéria prima também tem a maior plantação comercial de bambu das Américas (Brito et al., 1997).

O bambu corresponde a um conjunto de espécies pertencentes à família Poaceae e sub-família Bambusoideae. Reúnem cerca de 1250 espécies divididas em mais de 75 gêneros (Shanmughavel & Francis, 1996). Beraldo & Azzini (2004) mencionam que a maior diversidade de espécies de bambu é encontrada nos continentes asiático e americano.

Para Ghavami (2002), o que diferencia de imediato o bambu de outras espécies madeiras é a sua alta produtividade. Dois anos e meio após ter brotado do solo, o colmo de bambu já possui resistência estrutural, não havendo neste aspecto nenhum concorrente no reino vegetal. Ecologicamente é uma planta de grande eficiência no seqüestro de CO₂ atmosférico, em virtude de sua elevada produtividade e velocidade de crescimento (Ribeiro, 2005).

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Avaliar a possibilidade de aproveitamento do resíduo industrial subproduto da fabricação de papel (*lama de cal*) na agricultura.

2.2. Objetivos específicos

- Avaliar o efeito da lama de cal no desenvolvimento do bambu, em experimento de casa de vegetação;
- Avaliar o efeito da lama de cal na nutrição mineral do bambu, em experimento de casa de vegetação;

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. EMISSÃO DE RESÍDUOS

As rápidas adoções de novas tecnologias e as evoluções dos processos industriais tiveram como consequência o surgimento de inúmeros produtos que rapidamente se tornaram de primeira necessidade, ou seja, a atividade industrial adquiriu um caráter essencial na sociedade contemporânea.

Os frutos da evolução tecnológica contribuem para o desenvolvimento da sociedade, porém há casos em que técnicas mal elaboradas, ou mal gerenciadas, geram resultados que perduram por muito tempo e podem trazer consequências imprevisíveis.

Embora a sua importância seja indiscutível, a atividade industrial costuma ser responsabilizada, e muitas vezes com justa razão, pelo fenômeno de contaminação ambiental, principalmente, graças a dois fatores de extrema importância: a) o acúmulo de matérias primas e insumos, que envolve sérios riscos de contaminação por transporte e disposição inadequada; e b) ineficiência dos processos de conversão, o que necessariamente implica a geração de resíduos (Freire et al., 2000).

A conscientização dos efeitos nocivos provocados pela liberação de resíduos no meio ambiente está associada à implantação de leis ambientais mais severas e tornou o gerenciamento ambiental uma questão fundamental (Júnior, 2001). A indústria de papel e celulose é uma das que mais contribui ao processo de geração de resíduos originados nos processos de branqueamento da polpa.

Além disso, os órgãos de proteção do meio ambiente exigem das empresas uma atuação transparente e concreta na preservação e conservação dos componentes do meio ambiente que deve se materializar pela realização de atividades que apresentem um menor impacto ambiental.

Em função desta necessidade, muitos estudos e trabalhos têm sido realizados buscando desenvolver tecnologias capazes de minimizar o impacto que o despejo desses resíduos pode causar ao meio ambiente (Freire, 2000).

3.2. CARACTERÍSTICAS GERAIS DO BAMBU

Os bambus pertencem à família Poaceae, com um conjunto muito grande de espécies, desde plantas de pequeno porte até plantas com mais de 40 m de altura (Ribeiro, 2005). Devido as características do seu colmo os bambus são considerados por Pereira (2001) como plantas lenhosas, monocotiledôneas que possuem cerca de 75 gêneros e 1250 espécies. Sua ocorrência naturalmente acontece em quase todos os continentes com exceção da Europa, cobrindo cerca de 14 milhões de hectares (Kleinhenz & Midmore, 2001) e acredita-se que existam muitas outras ainda desconhecidas (Davidson et al., 2006).

O colmo pode se apresentar com tons de cores variadas: preto, vermelho, azul, violeta, tendo o verde e o amarelo como principais. Resistem a temperaturas abaixo de zero, principalmente, os leptomorfos ou '*runners*' e temperaturas tropicais, principalmente, os paquimorfos ou '*clumpers*' (Tomazello Filho & Azzini, 1987).

Beraldo & Azzini (2004) mencionam que a maior diversidade de espécies é encontrada nos continentes asiático e americano. Os vários tipos de bambu compreendem desde espécies pequenas de 10 cm a 3 m de altura com diâmetros de 0,5 a 5 cm, utilizadas principalmente em ornamentação, até espécies gigantes que podem atingir cerca de 40 metros de altura com diâmetros que variam de 10 a 30 cm (Nunes, 2005).

Segundo Liese (1998), citado por Ghavami & Marinho (2005), do ponto de vista anatômico, o bambu é, de modo geral, constituído por fibras (40 %), células parenquimosas (50 %) e vasos (10 %). Esses são constituídos, principalmente, de celulose e lignina contendo silício (Salgado, 1987).

A planta de bambu é formada pelos sistemas subterrâneos de rizomas e raízes, e parte aérea de colmos, galhos e folhas. A planta pode apresentar flores ou frutos, por vez, ou os dois, simultaneamente.

Os colmos são formados por uma série alternada de nós e entrenós. Com o crescimento do bambu, cada novo nó interno é envolvido por uma folha caulinar protetora (bainha). Esses colmos diferem, segundo a espécie, em comprimento, espessura da parede, diâmetro, espaçamento dos nós e resistência. Em sua maioria são ocos, podendo-se

encontrar algumas espécies com entrenós sólidos e outros com água no seu interior (Ghavami & Marinho 2005).

As folhas não crescem diretamente de uma gema dos galhos, sendo na verdade, lâminas de folhas caulinares. Essas lâminas se tornam bem mais alongadas nos galhos do que nos colmos, tomando a forma e a função fotossintética de uma folha. Nos galhos essas folhas estão conectadas à bainha por uma projeção de sua veia principal, em forma de uma curta haste (Filgueiras 1988; Ribeiro, 2005).

A taxonomia botânica encontra dificuldades para uma classificação completa de algumas espécies de bambu, uma vez que para isso se torna necessária à coleta e análise de flores e frutos da planta. Sabe-se que a maioria das espécies de bambu floresce uma única vez ao final do seu ciclo de vida, fenômeno que ocorre em um período de cinquenta a cem anos, o que torna muito difícil o estudo completo das espécies, necessitando de continuidade das pesquisas em longo prazo.

Conforme a região onde aparecem as espécies nativas do Brasil são conhecidas como taquara, taboca, taboca-açu, taquara-açu etc. As espécies mais frequentes são a *Bambusa vulgaris*, planta arborescente de 8 a 15 m de altura, de colmos verdes, amarelos ou estriados, e a *B. arudinacea*, mais alta (até 30 m), com caules recurvados e resistentes (Salgado & Godoy Júnior, 2002).

3.3. PARTICULARIDADES DO *Bambusa vulgaris*

O *Bambusa vulgaris* é uma das espécies mais utilizadas aqui no Brasil, é de origem asiática e foi trazida pelos portugueses no início da colonização deste país. Tem como características seus colmos grossos e de cor verde (Ribeiro, 2005), é utilizada nos programas de reflorestamento, principalmente, no Nordeste do País, ocupando cerca de 40 mil hectares para a produção de celulose de fibra longa (Tomazello Filho & Azzini, 1987).

Essa espécie vegetal é cultivada em áreas com precipitação pluviométrica anual entre 1300 a 3800 mm, não suporta longas inundações, cresce em solos de qualquer textura com pH entre 4,5 e 7,5, porém não suporta níveis elevados de sal no solo (Francis, 1993).

Bambusa vulgaris floresce raramente, quando ocorre a maioria das sementes é estéril (Filgueiras, 1988; Francis, 1993). Após o florescimento, ocorre a morte de toda a touceira, inclusive do rizoma.

Quase toda a área cultivada no Brasil é oriunda de reprodução vegetativa, que pode ser a partir do colmo, de pedaços do rizoma ou mesmo de um único nó. Em qualquer um dos casos, o material vegetal é enterrado e recoberto por uma camada de matéria orgânica (Francis, 1993).

3.4. CONSIDERAÇÕES SOBRE A NUTRIÇÃO MINERAL DO BAMBU

Apesar dos povoamentos florestais apresentarem baixas exigências de nutrientes, diversos estudos têm demonstrado aumento na produtividade, em resposta à elevação do nível de fertilidade do solo (Melo, 1994).

A maioria dos trabalhos sobre bambu produzidos no Brasil são a respeito de suas propriedades físicas e mecânicas. Essa planta é cultivada em escala comercial no Brasil, apesar das grandes áreas cultivadas, pouco se conhece sobre as características nutricionais dessa cultura, portanto, faz-se necessário a aquisição de informações sobre as necessidades nutricionais dessa cultura.

Dentre as características químicas do solo, Melo (1994) constatou que os níveis de pH, matéria orgânica, bases trocáveis e nitrogênio, apresentaram correlações positivas com o crescimento das árvores.

As concentrações médias de N, P e K nos colmos são mais altas nas plantas com idade de um ano e mais baixas em plantas de três anos. A adição de fertilizantes N, P e K aumentam a produção do colmo, também mostram colmos mais longos, mas com diâmetro reduzido (Shanmughavel et al., 1997). O conteúdo dos nutrientes no rizoma e na raiz se situa entre 12 e 28 % dos nutrientes da biomassa total da planta. Shanmughavel et al., 1997 também contataram uma participação em relação a parte aérea de, aproximadamente, 82, 13 e 5 %, respectivamente para os colmos, galhos e folhas, quando a produtividade da biomassa da parte aérea foi de 110 t ha⁻¹ (Embaye et al., 2005).

Oliveira (2008) constatou em *Bambusa vulgaris*, que as maiores respostas à adubação na produção de biomassa seca total têm sido observados na seguinte ordem: N

(120 kg ha⁻¹)>K (100 kg ha⁻¹)>P (10 kg ha⁻¹), nesse mesmo estudo, relata o crescimento da biomassa seca total devido ao acréscimo desses fertilizantes, mas admite que a adubação para a cultura do bambu para aplicação de N e K são subestimadas. Ainda segundo Oliveira (2008) doses crescentes de P reduziram a biomassa seca total das plantas. Essa diminuição pode ser explicada pela interação do fósforo com o zinco pode afetar a absorção, translocação e concentração desses nutrientes nos tecidos vegetais, provocando relações inadequadas entre os mesmos.

Alguns autores relatam que o potássio proporciona aumento no número de brotos em bambu, porém não está relacionado com o número de perfilhos (Kleinhez & Midmore, 2001; Shanmughavel & Francis, 2001; Kleinhez et al., 2003).

Bambusa vulgaris cultivado em vasos com solo revelou um aumento significativo na produção de biomassa, em resposta à adição de fertilizante potássico (Oliveira, 2008). Kleinhez & Midmore (2001) relatam que o potássio é o nutriente requerido em maior quantidade pelo bambu, porém em excesso provoca distúrbios, qualquer que seja o vegetal.

De acordo com Ribeiro (2008) doses crescentes de potássio na solução nutritiva causam a diminuição dos teores dos solutos orgânicos no bambu. Ribeiro (2008) também afirma que a dosagem que incrementa a produção de biomassa é de 0,5 mmol.L⁻¹ de potássio na solução nutritiva, dosagens acima de 10 mmol.L⁻¹ de potássio se mostram excessivas para as necessidades nutricionais do bambu.

Considerando-se que muitas espécies florestais se desenvolvem em solos ácidos e com baixa disponibilidade de nutrientes, torna-se necessário determinar uma relação harmônica entre exigência e tolerância por parte das espécies de um lado, e de outro, avaliou o impacto no sistema solo-planta.

3.5. APLICAÇÕES E CONSUMO DE BAMBU

O bambu acompanha a evolução do homem, desde a pré-história, principalmente no Extremo Oriente. Foi utilizado, por exemplo, na construção da cúpula do Taj Mahal, no século 16, na Índia; no primeiro filamento utilizado em uma lâmpada por Thomas Edison, no século 19; e na construção da estrutura do 14-Bis, por Santos Dumont, no início do

século 20 (Pereira & Beraldo, 2007). Igualmente importante, ao lado dos usos tradicionais, tem sido o desenvolvimento de usos industriais do bambu (Sastry, 1998).

O bambu oferece muitas vantagens econômicas, suas aplicações são bastante abrangentes, principalmente, nos países orientais, onde é usado na construção de pontes, postes, móveis, cercas, na fabricação de bolsas, utensílios domésticos, embalagens, brinquedos, alimentos, combustível, móveis, fabricação de papel, irrigação, armas, artesanato e como material de construção para obras civis e rurais, instrumentos musicais, bem como para a produção de polpa celulósica, servindo, também, como fonte de energia alternativa (Andrade et al., 2001).

A Colômbia, o Equador e a Costa Rica desenvolvem projetos nacionais envolvendo a utilização do bambu, com reflorestamento e desenvolvimento de uma cultura de habitações populares com esse material, para substituir o uso da madeira (Pereira, 2001).

O bambu, como afirma Beraldo & Freire (2003), entre as matérias-primas lignocelulósicas, possui grandes possibilidades agrônomicas e tecnológicas. Isto porque o bambu apresenta perenidade das touceiras, rápido desenvolvimento vegetativo, ciclos de colheita curtos e elevados níveis de produção.

3.6. SUBPRODUTO DA INDÚSTRIA DE PAPEL E CELULOSE *LAMA DE CAL* GERAÇÃO E UTILIZAÇÃO NA ATIVIDADE FLORESTAL

As fábricas de celulose e papel se deparam com problemas de ordem ambiental, devido à grande quantidade de resíduos gerados (Quadro 1). A opção por aterro industrial para a disposição final desses resíduos é indesejável, em função dos altos custos para sua implantação e manutenção, além da exigência de cuidados especiais no manuseio, tendo em vista os riscos de contaminação ambiental (Bellote et al., 1998).

Quadro 1. Resíduos gerados na produção de papel

Resíduos	Kg tsa ⁻¹	t ano ⁻¹
Lenhosos (casca de madeira e serragem)	254	237.700
Lodo biológico	11,8	11.000
Fibra do tratamento primário	8,2	7.700
Rejeito de depuração	6,3	5.900
Cinzas	5,1	4.800
Dregs	11,7	11.000
Grits	16,4	15.400
Lama de cal	13,7	12.800
Total	327	306.300

Fonte: Adaptado de Guerra (2007)

De acordo com Moro (1994), as indústrias que utilizam o processo de branqueamento na produção de celulose e papel produzem, geralmente, cinza de biomassa florestal, resíduo celulósico e a lama de cal com volumes significativos e com grande potencial de utilização como fertilizante na atividade florestal. Segundo esse autor, o resíduo celulósico apresenta pH bastante elevado e favorecendo a retenção de água no solo, características favoráveis em ambientes ácidos e de déficit hídrico (Bellote et al. 1998).

Bergamin et al. (1994), citam que as empresas florestais que utilizam o processo Kraft para a extração de celulose produzem dregs, grits, lama de cal e lodo orgânico, resíduos esses que são gerados durante o ciclo de recuperação dos produtos químicos usados na digestão da madeira para obtenção das fibras de celulose, e possuem alto potencial para uso agrícola.

Nolasco et al. (2000), citam que os resíduos de origem industrial das fábricas de papel e celulose variam em composição química e quantidade segundo o processo utilizado para a extração da celulose e produção de papel.

Segundo Bellote et al. (1998) para cada 100 t de celulose produzida, estima-se que 48 t de resíduos sejam produzidos. Esses resíduos têm sido utilizados de forma isolada ou/e de composto, juntamente com fertilizantes minerais e demonstrado aumento crescente linear de produtividade.

Oliveira (2000), em seus estudos sobre reaproveitamento do resíduo de lama de cal, por meio de caracterização físico-química, observou em sua constituição: SiO₂ (0,37%), Al₂O₃ (0,66%), Fe₂O₃ (0,09%), CaO (51,01%), MgO (0,83%), Na₂O (0,74%), K₂O (0,04%), SO₄⁻ (3,61%).

Dos métodos de produção de pasta celulósica utilizando processos químicos alcalinos, o processo Kraft é o mais utilizado. No Brasil, cerca de 81% da produção de pasta química é feita pelo processo Kraft. O processo consiste de duas fases: a fabricação da polpa, seguida pela conversão a papel. Apesar da denominação, o processo utiliza o hidróxido de sódio (NaOH) e o sulfeto de sódio (Na₂S) para digestão da madeira e posterior produção de pasta celulósica e papel (Shreve e Brink, 1980).

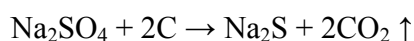
Inicialmente, a madeira é partida até formar os cavacos, que em seguida alimentam os digestores (reatores) juntamente com o licor branco de cozimento contendo os reagentes ativos (mistura aquosa de NaOH e Na₂S).

É durante o cozimento, a cerca de 170°C e mantido por no máximo duas horas, que ocorre a hidrólise das ligninas da madeira que se transformam em álcoois, ácidos, mercaptanas, sulfetos e terebintina, que emanam do processo um cheiro desagradável. Após a etapa de cozimento, a mistura, contendo o licor negro diluído e a pasta de celulose parda é lançada num tanque de descarga. Em seguida, passa pelos filtros onde a pasta é lavada e separada do licor negro diluído. A pasta, depois da separação do licor negro, é encaminhada para o processo de branqueamento. A partir desta etapa, começa a fase de regeneração química, que consiste na recuperação dos reagentes do licor de cozimento.

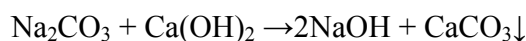
O licor negro diluído contém aproximadamente 20% de sólidos, além de compostos orgânicos de enxofre, sulfeto de sódio, carbonato de sódio (Na₂CO₃), sulfato de sódio (Na₂SO₄), hidróxido de sódio, etc.

Este licor negro diluído é concentrado nos evaporadores alcançando até 70% de sólidos. Adiciona-se Na₂SO₄ à massa negra resultante, que é queimada na caldeira, decompondo todos os compostos orgânicos remanescentes, liberando calor e dióxido de carbono (CO₂). De acordo com Carvalho (2006) compostos de enxofre passam por uma série de reações:

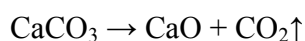
Redução do Sulfato a Sulfeto:



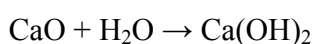
Conversão dos compostos orgânicos de sódio em sulfeto de sódio. Assim, a massa fundida é composta, principalmente, de Na₂CO₃ e Na₂S, formando o licor verde. Na unidade de caustificação, o licor verde é tratado com hidróxido de cálcio [Ca(OH)₂], produzindo o licor branco.



As impurezas são sedimentadas, e o carbonato de cálcio [CaCO_3] precipita, formando uma lama chamada “Lama de Cal”. Esta lama é enviada a um forno cilíndrico rotativo, onde é calcinada a aproximadamente a 900°C , para regenerar o óxido de cálcio (CaO) que é reutilizado no processo.



O CaO (cal virgem) assim formado é misturado com água para obter o $\text{Ca}(\text{OH})_2$, que é usado em seguida na caustificação do licor verde.



O hidróxido de sódio formado na caustificação, mais o sulfeto de sódio formado na combustão da caldeira, são enviados aos digestores como licor branco de cozimento, completando assim, o ciclo de recuperação.

Muitas vezes, o maior problema encontrado no processo de regeneração dos licores de digestão dentro da unidade de caustificação é o subdimensionamento do forno de cal, que não consegue calcinar todo CaCO_3 formado, gerando deste modo o resíduo de “Lama de Cal”. Nestas condições, a unidade fabril é obrigada a comprar e repor cal virgem nova para completar a recuperação dos reagentes.

Na indústria de celulose e papel, há a geração de um resíduo, descrito por Bergamin et al. (1994) como originário da etapa de caustificação, no processo de recuperação do licor de cozimento, no qual é utilizada a cal hidratada. Esporadicamente, o forno de cal sofre um descarte de uma "lama de cal", sólida e de coloração cinza claro, homogênea e sem odor característico. Esse material, de reação alcalina, qualifica-se como possível sucedâneo do calcário na correção da acidez do solo, tão comum no Brasil.

Para ocorrer a variação de pH, de saturação por bases e a mobilidade de cátions básicos no perfil do solo é fundamental a ausência de cátions ácidos nas camadas mais superficiais; uma vez que a prioridade das ligações será com esses cátions ácidos. Vale lembrar que a redução desses cátions ácidos ocorre quando o pH em água atinge valores de 5,2 e 5,5 (Rheinheimer et al., 2000).

O deslocamento de cátions básicos (K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+}) é ainda dificultado com a adsorção pelas cargas negativas variáveis geradas com a elevação do pH (Caires et al., 2004). Portanto, a mobilidade dos cátions básicos no perfil do solo pode ser favorecida quando eles

formarem pares iônicos, e isto só ocorrerá quando a constante de estabilidade do cátion básico-ligante for maior que a do cátion básico-solo e a constante de estabilidade de cátions ácidos-ligantes for menor que a dos cátions ácidos-solo (Amaral et al., 2004).

3.7. PRESENÇA DE METAIS PESADOS NA LAMA DE CAL

A utilização de resíduos industriais tem sido bastante estudada em relação ao aumento da produtividade de plantas cultivadas com pouco destaque nos efeitos ambientais e na saúde de quem consome, tanto animal quanto humano, a curto e longo prazo (Figueiredo, 2010).

A proposta da utilização de resíduos industriais se torna atraente do ponto de vista econômico, pois eles servem como matéria prima de baixo custo. Ao se tratar de resíduos alcalinos originados em indústrias de celulose, em função da sua origem por meio do reaproveitamento de reagentes utilizados no processo de recuperação do licor de cozimento, se faz necessário o estudo dos efeitos de seus elementos no solo. Por ser de origem industrial também se faz necessária a análise da presença de metais pesados que podem aparecer como contaminantes. Nesse sentido segmentos industriais e de pesquisa tem empenhado para indicar o destino final de resíduos.

A grande limitação para utilização de resíduos industriais é a concentração de metais pesados como (zinco, níquel, cobre, chumbo e cromo), mas o desenvolvimento de técnicas que diluam a concentração desses metais podem torná-los fontes de micronutrientes, caso contrário esses metais apresentam efeito fitotóxico as plantas (Santos & Tsutiya, 1997).

O setor de celulose não é fonte geradora de metais pesados, pois essa tipologia industrial transforma a madeira em polpa celulósica. Existem trabalhos que afirmam que a absorção desses metais pelas raízes das plantas, ou seja, podem estar contidos na estrutura da madeira, a planta pode absorvê-los até suprir suas exigências, morrendo com o aumento de doses, devido ao efeito fitotóxico destes elementos (De Paula Júnior, 2002). O comportamento de adubos residuários de indústria deve ser também um aspecto monitorado já que podem adsorver íons metálicos (Canellas et al., 1999).

Devido à presença em grande quantidade de sódio (Na) em uma das etapas de geração da celulose esse elemento é encontrado em quantidades razoáveis na lama de cal. O sódio em

alta concentração pode resultar em efeitos adversos indiretos, provocando a dispersão de argilas e desestruturação do solo, principalmente, quando as concentrações de cálcio e magnésio são baixas. Segundo Paim (2007), a concentração de sódio encontrada foi de 2% e além do sódio também foram encontrados outros elementos indesejáveis em altas concentrações à nutrição mineral das plantas elementos como cobre (18 mg kg^{-1}), zinco (58 mg kg^{-1}), chumbo (3 mg kg^{-1}), cádmio ($0,3 \text{ mg kg}^{-1}$) e alumínio ($0,27 \text{ mg kg}^{-1}$) e manganês ($0,15 \text{ mg kg}^{-1}$).

Em estudo proposto por Teixeira (2003) não foram observadas, de maneira geral, diferenças significativas entre os tratamentos quanto aos teores dos elementos Cu, Zn, Pb, Ni, Cd, Cr, Hg após a adição de resíduos da indústria de papel e celulose.

Muse & Mitchell (1995) afirmaram que as mais altas concentrações de metais pesados nos resíduos calcários foram ainda menores que as concentrações encontradas em lodos de esgotos municipal.

Segundo Corrêia et al. (2008) a aplicação superficial de escória de aciaria, lama cal, lodo de esgoto centrifugado e de biodigestor, até a dose de 8 t ha^{-1} , não aumentam a disponibilidade no solo dos metais pesados Cd, Cr, Hg, Pb, Ni e As. A fitodisponibilidade dos metais pesados Cd, Cr, Hg, Pb, Ni e As às culturas da soja e aveia-preta é nula, quando são aplicadas doses de até 8 t ha^{-1} de lodos de esgoto centrifugado e de biodigestor, escória de aciaria e lama cal, na superfície do solo, no sistema plantio direto. Deve-se ressaltar que a limitação da aplicação desses resíduos em área agrícola ocorre em razão da possível contaminação por metais pesados, que podem causar danos ao ambiente, às plantas, aos animais e ao homem (Oliveira & Mattiazzo, 2001).

4. LITERATURA CITADA

- Amaral, A.S.; Anghioni, I.; Hinrichis, R.; Bertol, I. Movimentação de partículas de calcário no perfil de um Cambissolo em plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.28, p.359-367, 2004.
- Andrade, A.M.; Duarte, A.P.C.; Belgacem, M.N.; Murano, E.R. Produção de papéis artesanais das misturas de aparas com fibras virgens de bambu (*Dendrocalamus giganteus*) e de bagaço de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*). *Floresta e ambiente*, v.8, n.1, p.143-152, 2001.
- Barros, N.F.; Neves, J.C.L.; Novais, R.F. Recomendação de fertilizantes minerais em plantios de eucalipto. In: Golçalves, J.L.M.; Benedetti, V. *Nutrição e fertilização florestal*. Piracicaba: Instituto de Pesquisas e Estudos Florestal, 2000. p. 269-286.
- Barros, N.F.; Novais, R.F.; Neves, J.C.L. Fertilização e correção de solo para o plantio de eucalipto. In: Barros, N.F.; Novais, R.F. *Relação solo-planta*. Viçosa: Editora Folha de Viçosa, 1990. p. 127-186.
- Bellote, A.F.J.; Ferreira, C.A.; Silva, H.D.; Andrade, G.C.; Moro, L. Implicações ecológicas do uso de cinzas de caldeira e resíduo de celulose em plantios de *Eucalyptus grandis*. In: *Seminário sobre resíduos industriais e urbanos em florestas, 1994*, Botucatu. Anais. Botucatu: UNESP - Faculdade de Ciências Agrônomicas, 1994. p. 167 – 187.
- Bellote, A.F.J.; Silva, H.D.; Ferreira, C.A.; Andrade, G.C. Resíduos da indústria de celulose em plantios florestais. *Boletim de Pesquisa Florestal. EMBRAPA*. n. 37, p. 99-106. jul/dez. 1998.
- Beraldo, A. L.; Azzini, A. *Bambu: características e utilizações*. Guaíba: Editora Agropecuária, 2004. 127p.
- Beraldo, A. L.; Freire, W. J.; *Tecnologias e materiais alternativos de construção*. São Paulo: Editora Unicamp, 2003.
- Bergamin, F.N.; Zini, C.A.; Gonzaga, J.V.; Bortolas, E. Resíduos de fábrica de celulose e papel: lixo ou produto? In: *Seminário sobre resíduos industriais e urbanos em florestas, 1994*, Botucatu. Anais. Botucatu: UNESP - Faculdade de Ciências Agrônomicas, 1994. p. 97 – 120.

- Brito, J.O.; Tamazello Filho, M.; Salgado, A.L.B. Produção e caracterização do carvão vegetal de espécies e variedades de bambu. Instituto de Pesquisas Florestais – IPEF, v.36, p.13-17, 1997.
- Caires, E.F.; Kusmam, M.T.; Barth, G.; Garbuio, F.G.; Padilha, J.M. Alterações químicas do solo e resposta do milho à calagem e aplicação de gesso. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.28, p.125-136, 2004.
- Canellas, L. P., Santos, G.A., Amaral Sobrinho, N.M.B., Moraes, A.A., Rumjamek, V.M. Adsorção de Cu^{2+} e Cd^{2+} em ácidos húmicos extraídos de resíduos orgânicos de origem urbana. Santa Maria, v. 29, n. 1, p. 21-26, 1999.
- Carvalho, A. L. Avaliação das propriedades mecânicas da argamassa contendo adição de resíduo de carbonato de cálcio gerado na fabricação de celulose. Salvador: UFB, 2006. 142p. Dissertação Mestrado
- Corrêa, J.C.; Büll, L.T.; Paganini, W.S.; Guerrini, I.A. Disponibilidade de metais pesados em Latossolo com aplicação superficial de escória, lama cal, lodos de esgoto e calcário. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.43, p.411-419, 2008.
- Davidson, D. W.; arias, J. A.; Mann, J. An experimental study of bamboo ants in western Amazonia. Insectes Sociaux, Paris, v. 53 p. 108–114. 2006.
- De Paula Júnior, D.R. Avaliação da biodisponibilidade de metais pesados provenientes da Aplicação de composto de resíduos sólidos urbanos e dos seus efeitos sobre o cultivo de cenoura. In: XXVIII Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitária Y Ambiental. Anais. Cacún, México, 2002. Disponível em : <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/mexico26/iv-062.pdf>. Acessado em: 23, mai, 2010.
- Embaye, K.; Weiha, M.; Ledinc, S.; Christersson, L. Biomass and nutrient distribution in a highland bamboo forest in southwest Ethiopia: implications for management. Forest Ecology and Management, Amstedan, 204 p. 159–169, 2005.
- Figueiredo, P. G.; Tanamati, F. Y. Adubação orgânica e contaminação ambiental. Revista Verde, v.5, p. 01 – 04, 2010
- Filgueiras, T.S. Bambus nativos do Distrito Federal, Brasil (Gramineae: Bambusoideae). Revista Brasileira de Botânica, v.11, p.47-66, 1988.
- Francis, J.K. *Bambusa vulgaris* Schrad ex Wendl. Common bamboo. SO-ITFSM- 65. 1993. 6p.

- Freire, R.S.; Pelegrini, R.; Kubota, L.T.; Durán, N. Novas tendências para o tratamento de resíduos industriais contendo espécies organocloradas. *Quim. Nova*, v.23, n. 4, p. 504-511, 2000.
- Ghavami, K. Desenvolvimento de elementos estruturais utilizando-se bambu. Rio de Janeiro: PUC RJ, 2002.
- Ghavami, K.; Marinho, A. B. Propriedades físicas e mecânicas do colmo inteiro do bambu da espécie *Guadua angustifolia*. Campina Grande, PB. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 9, nº 1, p.107-114, 2005.
- Guerra, M. A. de S. Avaliação de indicadores biológicos e físico-químicos no composto orgânico produzido a partir de resíduo da indústria de celulose. Viçosa: UFV, 2007. 61 p. Dissertação Mestrado
- Guerrini, I.A.; Villas Boas, R.L. Bull, L.T. Influência do resíduo celulósico e cinza provenientes de fábrica de celulose e papel sobre algumas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo em condições de vaso. *Rev. Científica*. São Paulo, v. 22, n. 1, 1994.
- Heiman, P.E. Minerals, chemical properties and fertility of forest soil. In: HILMAN P.E. et al.. *Forest soil of the douglas-fir region*. Pullman: Washington State Cooperative Extension Service, 1981 p. 121-136.
- Júnior, L. de M. B. Biossorção de metais pesados presentes em águas de produção da indústria de petróleo. Natal: UFRN, 2001. 134p. Dissertação Mestrado
- Kleinhenz, V.; Midmore, D.J. Aspects of bamboo agronomy. *Advances in Agronomy*, 330 v.74, p.99-149, 2001.
- Kleinhenz, V.; Milne, J.; Walsh, K.B.; Midmore, D.J. A case study on the effects of irrigation and fertilization on soil nutrient status, and on growth and yield of bamboo (*Phyllostachys pubescens*) shoots. *Journal of Bamboo and Rattan*, v.2, n.3, p.281-293, 2003.
- Liese, W. The anatomy of bamboo culms. International Network for Bamboo and Rattan. China, 1998, 208p.
- Melo, V.F.de. Relação entre a reserva mineral de solos e a produção de nutrientes em povoamentos de *Eucalyptus saligna* Smith. Rio Grande do Sul. Viçosa, 1994, 145 p. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Lavras.

- Moro, L. Caracterização, distribuição e análise econômica dos resíduos industriais da Champion Papel e Celulose Ltda. In: Seminário sobre resíduos industriais e urbanos em florestas, n. 1, 1994, Botucatu. Anais. Botucatu: UNESP - Faculdade de Ciências Agrônomicas, 1994. p. 155-166.
- Muse, J.K.; Mitchell, C. C. Paper mill boiler ash lime by-products as soil liming materials. *Agron. J.*, Madson, V. 87, n. 3 432-438, 1995.
- 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. Nutrição e fertilização florestal. Piracicaba: IPEF. 2000, p. 385-414.
- Nunes, A.R.S. Construindo com a natureza, bambu: uma alternativa de ecodesenvolvimento. Sergipe: UFS, 2005. 131p. Dissertação de Mestrado.
- Oliveira, D. A. Biomassa e nutrientes minerais no bambu em função da adubação mineral. *Scientia Agraria*, v.9, n. 2, p.139-146, 2008.
- Oliveira, F.C.; MATTIAZZO, M.E. Metais pesados em Latossolo tratado com lodo de esgoto e em plantas de cana-de-açúcar. *Scientia Agricola*, v.58, p.581-593, 2001.
- Oliveira, H. A. Estudo para Reaproveitamento Lama de cal do processo Kraft de Fabricação de Celulose e Papel em Cerâmicas de Revestimento. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, 2000.
- Paim, R. M. Efeito da aplicação de lama de cal e cloreto de potássio sobre as varáveis químicas e biológicas do solo, estado nutricional e crescimento do *Pinus taeda* L. sobre latossolo em Três Barras. Paraná: UFPR, 2007. 120 p. Dissertação de Mestrado.
- Pawlowsky, U. Proteína a partir de desperdícios. Curitiba: Administração de Recursos Hídricos. 1976. 39 p. Trabalho apresentado no 15º. Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária, Buenos Aires Anais. 1976. CD Rom.
- Pereira, M.A. Bambu: espécies, características e aplicações. Bauru. SP: Editora da UNESP, 2001. 58p.
- Pereira, M. A. R.; Beraldo, A. L. Bambu de corpo e alma. Editora Canal 6. Bauru-Brasil, p. 1-235. 2007.
- Rheinheimer, D.S.; Santos, E.J.S.; Kaminski, J.; Gatiboni, L.C. & Bortoluzzi, E.C. Alterações de atributos do solo pela calagem superficial e incorporada a partir de pastagem natural. *R. Bras. C. Solo*, 24:797-805, 2000.

- Ribeiro, A.S. Carvão de bambu como fonte energética e outras aplicações. Maceió: Instituto do Bambu, 2005. 190p.
- Ribeiro, J. S. Efeito de potássio em plantas jovens de *Bambusa vulgaris* Schared ex Wendland cultivadas em sistema hidropônico. 2008, 54 p, Dissertação de Mestrado. Universidade Federal Rural de Pernambuco.
- Salgado, A. L. B. Godoy Junior, G. O bambu no Brasil: em nossa vida, nossa cultura, seu cultivo e utilização. In: Seminário Internacional – Cursos e Mostra. O uso do bambu na construção civil. Maceió: SEBRAE. 2002. p. 39
- Salgado, A.L.B. Propagação vegetativa de bambu. Instituto Agrônomo, v.39, n.3, p.17, 1987.
- Santos, H. F.; Tsutiya, M. T. Aproveitamento e disposição final do lodo de estações de tratamento do Estado de São Paulo. Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, v.2, n.2, p.70-81, 1997.
- Sastry, K. N. R. Socio-economic dimensions of vetiver in rainfed areas of Karnataka. India. In proc. Thailand - ICV-1, 243-248, 1998.
- Shanmughavel, P.; Francis, K. Above ground biomass production and nutrient distribution in growing bamboo (*Bambusa bambos* (L.) Voss). Biomass and Bioenergy, v.10, n.5/6, p.383-391. 1996.
- Shanmughavel, P.; Francis, K. Balance and turnover of nutrients in bamboo plantation (*Bambusa bambos*) of different ages. Biology Fertility Sols, v.25, p.69-74, 1997.
- Shanmughavel, P.; Francis, K. Physiology of Bamboo. Jodhpur (Índia): Scientific Publishers, 2001. 154p.
- Shreve, R. N.; Brink, J. A. Indústria de Processos Químicos, 4a edição. Rio de Janeiro – 1980.
- Teixeira, R.J. Utilização de resíduos sólidos alcalinos de indústria de celulose na correção da acidez do solo. Porto Alegre: UFRGS, 2003. 121p. Dissertação Mestrado.
- Tomazello Filho, M.; Azzini, A. Estrutura anatômica, dimensões das fibras e densidade básica de colmos de *Bambusa vulgaris* Shrad. Instituto de Pesquisas Florestais – IPEF, v.36, p.43-50, 1987.

5. CAPÍTULO I:

CRESCIMENTO E NUTRIENTES MINERAIS DO BAMBU EM RESPOSTA À APLICAÇÃO DE RESÍDUO INDUSTRIAL

Crescimento e nutrientes minerais do bambu em resposta à aplicação de resíduo industrial¹

Eliza R. G. M. de Albuquerque², Egídio B. Neto², Levy P. Barreto², Mário M. Rolim² & German H. C. Gutierrez³

¹Parte da Dissertação de Mestrado do primeiro autor

²DQ/UFRPE, Rua Dom Manoel de Medeiros, S/N, Dois Irmãos, CEP 52171-900, Recife, PE. Fone: (81)3320.6000. E-mail(s): raliza3@hotmail.com; egidio@dq.ufrpe.br; levypaes@yahoo.com.br; rolim@dtr.ufrpe.br

³Empresa Agroindustrial Excelsior S.A. (Agrimex), Engenho Itapicirica, CEP 55900-000, Goiana, PE. germanguitierrez@joaosantos.com.br

Resumo: No processo de fabricação de papel, sobra um subproduto chamado “lama de cal”, o qual não é recomendado que seja abandonado indiscriminadamente, nem despejado nos rios, para evitar contaminação. Diante do exposto foi realizado um experimento para avaliar a potencialidade da lama de cal, como uma alternativa para a correção da fertilidade do solo, no cultivo do bambu. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, tendo como tratamentos a aplicação do resíduo industrial lama de cal nas dosagens equivalentes a 0, 1, 2, 4, 8 e 16 t ha⁻¹. As plantas de bambu foram cultivadas durante 90 dias, após esse período as mesmas foram coletadas e determinadas a biomassa das folhas e dos colmos e nutrientes minerais. Houve efeito significativo da aplicação de lama de cal, de forma que houve aumento nos teores de K nas folhas do bambu, e decréscimo nos teores de magnésio no colmo. Apesar de não ter sido comprovado um aumento na biomassa vegetal a adição do resíduo lama de cal também não provocou sintomas de toxidez ou de deficiência nutricional às plantas oferecendo segurança na utilização desse material sem comprometimento ao meio ambiente nas dosagens testadas.

Palavras-chave: aproveitamento de resíduo, lama de cal, *Bambusa vulgaris*, nutrição mineral de plantas

Growth and mineral nutrients of bamboo in response to application of the residue industrial

Abstract: The process of papermaking, produces an industrial waste called "lime sludge ", which is not recommended to be dropped indiscriminately, or dumped into rivers, to prevent contamination. So the experiment was conducted to evaluate the potential of lime sludge as an alternative to correct the fertility of soil grown with bamboo. The experiment was conducted in a greenhouse, and the treatments where the application of industrial waste lime sludge at doses of 0, 1, 2, 4, 8 and 16 t ha⁻¹. Bamboo plants were grown for 90 days, and then the plants were collected and determined the biomass of leaves and stems, and mineral nutrients. There was a significant application of lime sludge, so that there was an increase in levels of potassium in the leaves of bamboo, and a decrease in the levels of magnesium in the stem. Despite of no increase in plant biomass, the addition of lime sludge residue also did not cause symptoms of toxicity or deficiency of nutrients of plants, suggesting to be advisable the use of this material in the doses tested without compromising the environment.

Keywords: utilization of waste, lime sludge, *Bambusa vulgaris*, mineral nutrition of plants

5.1. INTRODUÇÃO

O bambu (*Bambusa vulgaris* Schrader ex Wendland) é uma Poaceae de grande porte empregada para diversos fins, desde simples artesanato até a produção de energia e de papel de alta resistência. Ecologicamente é uma planta de grande eficiência no seqüestro de CO₂ atmosférico, em virtude de sua elevada produtividade e velocidade de crescimento (Ribeiro, 2005).

O Brasil é o único país da América do Sul a ter uma indústria que usa o bambu como matéria prima para o fabrico de papel de alta resistência. O setor de celulose e papel tem contribuído para o desenvolvimento socioeconômico do Brasil.

Em 2007, o setor gerou no país 110 mil empregos diretos (65 mil nas atividades industriais e 45 mil pessoas dedicadas à área florestal), e 500 mil empregos indiretos; arrecadou R\$ 2,1 bilhões em impostos; e exportou US\$ 4,7 bilhões (cerca de 4% das exportações brasileiras), contra US\$ 556 milhões no início da década de 90, sendo as exportações de celulose igual a US\$ 3 bilhões (Soares, et al. 2010).

Com a celulose, são produzidos papéis diversos (impressão, cadernos, revistas). Para que da madeira seja obtida a celulose, torna-se necessário, ainda, o uso, na indústria, de máquinas, produtos químicos (como soda líquida ou licor branco, licor preto, alvejantes, oxigênio e dióxido de cloro), água e energia.

Na indústria de celulose e papel, ocorre a geração de um resíduo, originário da etapa de caustificação, no processo de recuperação do licor de cozimento, onde é utilizada a cal hidratada e esporadicamente. O forno de cal sofre um descarte de uma "lama de cal", sólida e de coloração cinza claro, homogênea e sem odor característico.

Como o ciclo de produção da indústria de celulose e papel gera diversos resíduos que são depositados em aterros ou empilhados nas proximidades dos locais de produção, estes resíduos podem ser uma possível fonte de problemas ambientais. Com todo esse aumento no consumo do papel existe também um grande descarte de resíduos oriundos da produção deste.

O uso crescente de tecnologias tem originado uma preocupação, também crescente, com o reaproveitamento de rejeitos, resíduos ou detritos. A utilização do resíduo no solo é uma

alternativa interessante porque, ao mesmo tempo em que reduz o potencial poluente desses materiais, utiliza-os como insumos agrícolas de baixo custo (Simonete et al., 2003).

Os resíduos da fabricação do papel: escória de aciaria, lama cal e alguns lodos de esgoto têm a capacidade de neutralizar a acidez e possibilitar o deslocamento de nutrientes no perfil do solo, e podem ser usados como materiais alternativos ao calcário, uma vez que disponibilizam Ca^{2+} e Mg^{2+} e por existir em sua composição CaO , CaOH , SiCO_3 , NaOH , além de CaCO_3 e MgCO_3 (Oliveira et al., 2002; Carvalho-Pupatto, 2004; Ramos et al., 2006).

Corrêa et al. (2007) afirmam que a lama de cal pode ser utilizada como corretivo da acidez e aplicados sobre a superfície do solo no sistema de plantio direto. A medida que aumentaram as pressões da sociedade com relação aos impactos das atividades das organizações no meio ambiente, aumentou também a preocupação das empresas em disponibilizar aos seus consumidores informações de caráter ambiental (Pires, 2008).

As organizações passaram a se preocupar em atender a demanda de informações ambientais, de forma a satisfazer as expectativas dos envolvidos no que diz respeito à sua responsabilidade ambiental, e em convencer o mercado de que seu desempenho e práticas ambientais não prejudicam a sua lucratividade nem o meio ambiente.

Diante do exposto relatado, objetivou-se neste trabalho, avaliar a potencialidade da lama de cal como uma alternativa benéfica no cultivo do bambu avaliando dados biométricos e alguns atributos do estado nutricional do bambu.

5.2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado na casa de vegetação do Departamento de Química da Universidade Federal Rural de Pernambuco, no período de 6 de julho a 3 de outubro de 2009.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, com seis tratamentos e cinco repetições totalizando 30 parcelas, representadas por vasos de polipropileno, sendo cultivada uma planta por vaso. Os tratamentos foram de acordo com a adição de doses de lama de cal, equivalentes a 0 (testemunha), 1, 2, 4, 8 e 16 t ha⁻¹ (Tabela 1).

Tabela 1. Quantidade da lama de cal correspondente a cada tratamento do experimento em casa de vegetação

TRATAMENTO	DOSE ¹ (t ha ⁻¹)	DOSE ² (g vaso ⁻¹)
T0	0	0
T1	1	3,5
T2	2	7,0
T3	4	14,0
T4	8	28,0
T5	16	56,0

¹ = Equivalente a t ha⁻¹ de lama de cal em condições de campo;

² = Quantidade de lama de cal em g vaso⁻¹ no experimento de casa de vegetação

O solo utilizado no experimento foi coletado na profundidade de 0 – 20 cm de uma área ocupada pelo cultivo comercial de bambu localizada na Mata Norte do estado de Pernambuco no Engenho Catu, classificado como um solo Podzólicos Amarelos foi caracterizado como de textura argilosa.

Deste solo foram retiradas três amostras representativas para as análises físicas e químicas. Os resultados da análise química e física do solo antes da instalação do experimento são apresentados na Tabela 2. Em cada vaso foram adicionados 7 dm³ de solo e em seguida a dose de *lama de cal* equivalente a cada tratamento foi incorporada ao solo.

Tabela 2. Análise química e física do solo utilizado no experimento

Variáveis químicas	Valor
pH (H ₂ O)	6,57
H + Al (cmol dm ⁻³)	2,21
Al (cmol dm ⁻³)	0,11
CTC (cmol dm ⁻³)	10,68
Saturação por base (V %)	78,16
Soma de base (S cmol dm ⁻³)	8,36
Carbono (%)	0,90
Matéria Orgânica (%)	1,55
P (mg dm ⁻³)	3,47
K (cmol dm ⁻³)	0,59
Ca (cmol dm ⁻³)	4,35
Mg (cmol dm ⁻³)	2,90
Na (cmol dm ⁻³)	0,38
Zn (mg dm ⁻³)	0,17
Cu (mg dm ⁻³)	0,01
Fe (mg dm ⁻³)	0,18
Mn (mg dm ⁻³)	0,24
Variáveis granulométricas	
Argila (%)	36
Silte (%)	20
Areia Grossa (%)	40
Areia fina (%)	04
Argila Natural (%)	7,0
Textura	Argilosa

A irrigação foi feita com água potável quatro vezes por semana, sendo a quantidade de água limitada pelo início da drenagem, a irrigação era cessada. Os vasos foram munidos de sistema de drenagem e o drenado foi repostado nos respectivos vasos, para evitar variação iônica nos tratamentos.

O resíduo industrial lama de cal utilizado nos tratamentos foi fornecido pela empresa CEPASA: Celulose e Papel de Pernambuco S/A, unidade localizada no município de Jaboatão dos Guararapes-PE. Os resultados da análise química básica da lama de cal estão expressos na Tabela 3.

Tabela 3. Caracterização química do resíduo lama de cal empregada no experimento

Componente	Valor
Resíduo Mineral (%)	77,07
pH (H ₂ O)	10,9
Umidade (%)	7,09
Condutividade elétrica (dSm ⁻¹)	0,41
CaO (%)	21,50
MgO (%)	1,20
CaCO ₃ (%)	38,38
MgCO ₃ (%)	2,51
Potássio (K ₂ O) (%)	1,40
Sódio (Na) (%)	2,00
Poder de Neutralização (PN) (%)	44,57
Poder Relativo de Neutralização Total (PRNT) (%)	62
Análise granulométrica (ABNT %)	
10	100
20	99,74
50	82,20

Mudas de bambu, com cerca de 10 cm de altura, obtidas por micropropagação, foram medidas as alturas e pesadas antes do transplante. Foi realizado o acompanhamento diário das plantas para verificar qualquer sintomatologia de deficiência nutricional ou toxidez, bem como problemas relacionados à pragas e doenças.

Foram feitas as medições da altura das plantas e contagem do número de brotos emitidos. As plantas foram coletadas após 90 dias de experimento onde foram separadas em folhas, colmo e galhos para determinação da biomassa fresca através da pesagem.

O tecido vegetal colhido foi seco em estufa com circulação de ar a 65 °C até peso constante para obtenção da produção de biomassa seca das folhas (BSF) e biomassa seca dos colmos e galhos (BSC).

A matéria seca foi triturada em moinho de facas (tipo Willey) e posteriormente realizadas as análises dos macros e micronutrientes essenciais (Bezerra Neto & Barreto, 2004). Foi feita a digestão por via úmida (nitro-perclórica) para determinação das concentrações de Ca, Mg, Zn, Cu, Mn, Mo e Fe por espectrofotometria de absorção atômica, de P por colorimetria, de K e Na por fotometria de chama.

A determinação do cloreto foi feita em água pelo método de Mohr. O B foi determinado pelo extrato aquoso. O N total foi determinado após digestão sulfúrica, por destilação em aparelho Kjeldahl e quantificação por titulação.

Os resultados das análises químicas e biométricas do tecido vegetal que expressam o crescimento e teores nutricionais foram analisados estatisticamente por meio do programa ASSISTAT (Silva & Azevedo, 2002), procedendo-se a análise de variância e aplicação do teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade, para a comparação das médias.

5.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O uso de resíduos como corretivos da acidez pode ser interessante para melhoria das condições químicas e físicas dos solos (Zambrano et al., 2003) aumentando a disponibilidade de nutrientes para as plantas proporcionando um aumento na biomassa. Os resultados do número de folhas, altura das plantas e número de brotos estão apresentados na Tabela 4. Não houve diferença estatística entre essas variáveis.

Tabela 4. Número de folhas, altura da haste principal e número de brotos encontrados em bambus cultivados com diferentes doses lama de cal durante 90 dias

Tratamento	Número de folhas (por vaso)	Altura da haste principal (cm)	Número de brotos (por vaso)
T0	113 a	41,83 a	4,6 a
T1	120 a	37,8 a	3,8 a
T2	127 a	39,5 a	3,4 a
T3	122,6 a	40,4 a	3,8 a
T4	117 a	40,2 a	3,4 a
T5	127,2 a	42,3 a	3,2 a
Média	121,13	40,33	3,7
CV%	16,69	11,32	23,41

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey

O número de folhas e a altura das plantas se mostraram semelhantes em todos os tratamentos não diferindo dos resultados obtidos nas testemunhas. O número de brotos

também não apresentou aumento estatisticamente significativo de acordo com os tratamentos empregados. A diagnose do estado nutricional permite, dentro de certos limites, que se avalie a capacidade de desenvolvimento das árvores.

Muitos nutrientes e suas respectivas concentrações nos tecidos vegetais têm sido correlacionados com a produtividade florestal (Rodrigues, 2004). Apesar dos resultados não apresentarem diferença estatisticamente significativa entre os tratamentos, pode-se avaliá-los de forma positiva, pois em nenhum dos tratamentos foi observado sintomas de toxidez ou deficiência nutricional.

Não houve acréscimo na biomassa fresca de colmos e galhos (Tabela 5), que atualmente são as partes de maior interesse comercial no Brasil, pois são utilizados para a produção de papel e energia (Brito et al., 1997).

Tabela 5. Biomassa fresca e seca em bambus cultivados com diferentes doses lama de cal durante 90 dias

Tratamento	Biomassa fresca colmo e galhos (g por vaso ⁻¹)	Biomassa seca colmo e galhos (g por vaso ⁻¹)
T0	27,99 a	8,70 a
T1	30,03 a	8,20 a
T2	27,92 a	8,65 a
T3	30,13 a	9,03 a
T4	28,80 a	8,10 a
T5	26,93 a	8,45 a
Média	28,63	8,52

Médias seguidas pela mesma letra nas colunas não diferem entre si ao nível de 5% (0,05) de probabilidade pelo teste de Tukey

Observa-se que conforme a dose de resíduo aumentou, os teores de nitrogênio e fósforo não foram alterados (Tabela 6). Em se tratando da relação entre o nitrogênio e o fósforo, Herbert (1991), explica que a relação entre as concentrações foliares desses elementos afeta o crescimento em altura das árvores. Assim, se a relação N/P é alta, o crescimento é afetado positivamente e quando a relação é baixa, o crescimento é afetado negativamente. Como os teores encontrados desses elementos não diferiram significativamente o crescimento não foi afetado.

Tabela 6. Elementos minerais analisados em folha e em colmo de bambu cultivados com diferentes doses lama de cal durante 90 dias

Tratamento (t ha ⁻¹)	N		P		K		Na		Ca		Mg	
	folha	colmo	folha	colmo	folha	colmo	folha	colmo	folha	colmo	folha	colmo
..... (g kg ⁻¹)												
0	24,13 a	9,46 a	2,09 a	1,11 a	20,60 b	22,20 a	0,18 a	0,18 a	4,68 ab	2,64 a	3,12 a	2,40 a
1	20,93 a	9,20 a	1,96 a	1,26 a	23,60 ab	20,20 a	0,19 a	0,16 a	5,36 a	2,68 a	3,12 a	1,72 b
2	22,13 a	9,60 a	2,06 a	1,20 a	22,80 ab	23,20 a	0,18 a	0,17 a	4,84 ab	2,56 a	3,20 a	1,76 b
4	20,53 a	9,06 a	2,25 a	1,55 a	25,60 a	23,80 a	0,13 a	0,17 a	4,48 b	2,36 a	3,12 a	1,40 b
8	21,06 a	8,00 a	2,40 a	1,44 a	22,20 ab	20,60 a	0,12 a	0,20 a	4,44 b	2,44 a	3,12 a	1,72 b
16	23,06 a	8,60 a	2,23 a	1,49 a	22,60 ab	23,00 a	0,12 a	0,21 a	4,72 ab	2,44 a	2,92 a	1,56 b
Média	21,97	8,99	2,17	1,34	-	22,17	0,15	0,18	-	2,52	3,10	-

Médias seguidas pela mesma letra nas colunas não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey

Segundo Reissmann (2002), a análise química foliar é muito utilizada, considerando que o teor do nutriente é um reflexo de sua disponibilidade no solo. Além disso, Bellote & Silva (2000), também concordam que aumentos nas concentrações de nutrientes nas folhas se relacionam com as maiores produtividades e vice-versa.

Os teores de nutrientes das folhas nem sempre refletem realmente o estado nutricional das plantas. Isso porque o teor de nutrientes no tecido vegetal é resultante da combinação de vários fatores, como a oferta de nutrientes no solo, a absorção pela planta, a redistribuição e o crescimento. Por causa do efeito de diluição e concentração, árvores com maior ou menor crescimento podem apresentar teores mais baixos ou mais altos de nutrientes (Leite, 2010).

Dentre os elementos essenciais, o potássio é um dos cátions mais requerido nos processos fisiológicos das plantas não somente pela sua concentração nos tecidos vegetais, mas também pelas suas funções bioquímicas, sendo também essencial para todos os organismos vivos (Lavres Júnior, 2001).

Kleinhenz & Midmore (2001) relatam que o potássio é o nutriente requerido em maior quantidade pelo bambu, tal qual na fase de crescimento de qualquer vegetal, pois participa da elongação celular (Costa et al., 2001).

Um possível aumento na alocação de potássio do solo são repercutidos no acúmulo desse elemento pelas folhas (Tabela 6), na qual pode observar um aumento significativo para o tratamento T3 dosagem equivalente a 4 t ha⁻¹ que obteve o nível mais alto no

acúmulo desse elemento nas folhas de bambu ($25,60 \text{ g kg}^{-1}$) enquanto os níveis de potássio encontrados na testemunha obtiveram um acúmulo de $20,60 \text{ g kg}^{-1}$. Esse aumento não foi observado nos teores desse elemento no colmo onde não se encontrou diferença entre os tratamentos (Tabela 6.).

Em plantações de bambu, o potássio pode ser um elemento predominante sobre N, Ca, Mg e P (Ribeiro, 2008). Neste trabalho se pode relatar que o acúmulo de nutrientes foi na ordem decrescente $K > N > Ca > Mg > P$ confirmado pelos resultados também obtidos em Ribeiro (2008).

Almeida et al. (2007a) ao estudar resíduos alcalinos da indústria de celulose afirmou que o produto pode ser utilizado como corretivo da acidez do solo, servindo também como fonte de Ca e de alguns micronutrientes às plantas. Esse resultado não foi confirmado pelo experimento que mostrou uma redução no teor de cálcio nos tratamentos T3($4,48 \text{ g kg}^{-1}$) e T4($4,44 \text{ g kg}^{-1}$), possivelmente devido à absorção deste nutriente pelas plantas. Os demais tratamentos foram semelhantes a testemunha ($4,68 \text{ g kg}^{-1}$).

Uma das limitações encontradas ao uso desse resíduo decorre da elevada relação molar entre Ca e Mg (Almeida et al., 2007b). O desbalanço entre esses dois nutrientes no solo pode reduzir o desenvolvimento das culturas, pois a presença de um elemento pode prejudicar a absorção do outro (Orlando Filho et al., 1996; Medeiros et al., 2008). O teor de magnésio não foi prejudicado pela adição do resíduo, no qual os teores do mesmo não sofreram alterações em relação a testemunha.

A adição de quantidades elevadas do resíduo lama de cal ao solo pode prejudicar algumas propriedades físicas, devido à presença de Na, (Albuquerque et al., 2002; Nurmesniemi et al., 2005). Tal efeito prejudicial não foi encontrado na concentração do Na nas folhas, em que esse valor não foi alterado com a adição do resíduo.

Nas análises realizadas nos colmos de bambu, não foram diferenciados os níveis de N nem de P de acordo com a adição da lama de cal (Tabela 6).

O acréscimo do resíduo não influenciou estatisticamente o acúmulo de nitrogênio, fósforo, potássio, sódio e cálcio nos colmos. Em resposta ao antagonismo exercido pelo potássio sobre o magnésio, os níveis de magnésio em todos os tratamentos se mostraram inferiores aos da testemunha (Tabela 6).

Embora a possibilidade de ocorrer carência de um micronutriente seja menor do que a de um macronutriente (Raij, 1991), é necessário aprofundar os conhecimentos sobre as reais necessidades do bambu em micronutrientes, uma vez que, segundo Malavolta (1980), uma planta cultivada em solo pobre desses minerais pode apresentar diminuição no seu crescimento, com queda de 20% a 30% de sua produção.

De maneira geral, a elevação do pH do solo, favorecem o aparecimento da deficiência de alguns micronutrientes (Malavolta, 1980). O Zn é geralmente mais disponível para as plantas em solos ácidos do que em solos alcalinos (Malavolta, 1980). A acumulação de Zn, Fe e Mn diminuem significativamente em solo com o aumento de pH, o que pode estar relacionado com a precipitação desses micronutrientes (Fageria et al., 2002).

Porém, no presente caso houve aumento no acúmulo de cobre e ferro na adição da lama de cal ao solo, indo contra o pressuposto de que o aumento do pH no solo pode induzir a deficiência dos mesmos em solos e plantas. Na Tabela 7, observa-se que o cobre teve diferença significativa com acréscimo no acúmulo para os tratamentos T2 (22 mg k⁻¹) e T4 (22 mg k⁻¹) para folhas e T2 (26,4 mg k⁻¹) para colmo.

Tabela 7. Micronutrientes analisados em folha e colmo de bambu cultivados com diferentes doses lama de cal durante 90 dias

Tratamento (t ha ⁻¹)	Zn		Cu		Fe		B		Mn	
	folha	colmo	folha	colmo	folha	colmo	folha	colmo	folha	colmo
 (mg kg ⁻¹)									
0	14,00 ab	12,40 a	17,20 b	21,60 ab	156,00 a	104 a	81,46 a	40,38 a	13,60 ab	18,40 a
1	16,40 ab	11,20 a	20,80 ab	22,40 ab	158,00 a	112 a	76,89 a	38,95 a	8,40 b	17,60 a
2	12,80 b	11,20 a	22,00 a	26,40 a	174,00 a	158 a	49,45 a	29,80 a	10,00 b	14,40 a
4	12,00 b	10,80 a	21,60 ab	21,20 ab	142,00 a	102 a	58,34 a	53,95 a	8,40 b	15,20 a
8	18,40 a	11,60 a	22,00 a	21,60 ab	150,00 a	108 a	53,53 a	61,40 a	20,40 a	16,80 a
16	15,60 ab	13,20 a	19,60 ab	17,60 b	162,00 a	106 a	61,45 a	40,68 a	16,80 ab	14,40 a
Média	-	11,73	-	-	157,00	115,00	63,52	44,19	-	16,13

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey

De acordo com Paim (2007) esse aumento é natural devida composição do resíduo onde se podem encontrar esses elementos. Explicação essa que também se encaixa para o aumento do manganês que apesar de ser um elemento com maior disponibilidade em solos com o pH baixo, esse elemento se torna presente devido a sua existência na composição da

lama de cal. Segundo Finck (1982) teores de cobre acima de 30 mg kg⁻¹ são considerados fitotóxicos, mas apesar do aumento desse elemento em função de alguns dos tratamentos os níveis de toxidez não foram alcançados.

De modo geral a concentração dos micronutrientes no colmo do bambu não foi influenciada pela adição da lama de cal (Tabela 7). Os micronutrientes não tiveram diferenças significativas com exceção do cobre que oscilou entre os tratamentos.

5.4. CONCLUSÕES

1. A aplicação da lama de cal até a dose de 16 t ha⁻¹ não interferiu na produção de biomassa fresca e seca da parte aérea do bambu, nem no número de folhas;
2. Quanto à nutrição do *Bambusa vulgaris*, a aplicação de resíduo lama de cal ao solo mostrou aumento de teores de potássio nas folhas do bambu, e decréscimo nos teores de magnésio no colmo;
3. Quanto ao acúmulo de micronutrientes, apenas o Cu teve seu teor aumentado nas folhas em resposta à adição da lama de cal;
4. Em nenhum dos tratamentos foi observados sintomas de toxidez ou de deficiência de nutrientes às planta de bambu.

5.5. AGRADECIMENTOS

A empresa AGRIMEX, pelo material vegetal fornecido e pelo auxílio no desenvolvimento do trabalho.

5.6. LITERATURA CITADA

- Albuquerque, J.A.; Argenton, J.; Fontana, E.C. et al. Propriedades físicas e químicas de solos incubados com resíduo alcalino da indústria de celulose. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v.26, p.1065-1073, 2002.
- Almeida, H.C.; Ernani, P.R.; Albuquerque, J.A.; Marin, H. & Scapini, E. Influência da adição de um resíduo industrial na velocidade de neutralização da acidez do solo, adsorção de sódio e disponibilidade de magnésio para o trigo. R. Ci. Agrovet., 6:104-113, 2007b.

- Almeida, H.C.; Silveira, C.B.; Ernani, P.R.; Campos, M.L. & Almeida, D. Composição química de um resíduo alcalino da indústria de papel e celulose (dregs). *Química Nova*, 7:1669-1672, 2007a.
- Bellote, A.F.J.; Silva, H.D. Técnicas de amostragem e avaliações nutricionais em plantios de *Eucalyptus* spp. Piracicaba: Instituto de Pesquisas e Estudos Florestal, 2000. p. 105-134.
- Bezerra Neto, E.; Barreto, L. P. Métodos de análises químicas em plantas. Recife: Imprensa Universitária da UFRPE, 2004. 148p.
- Brito, J.O.; Tamazello Filho, M.; Salgado, A.L.B. Produção e caracterização do carvão vegetal de espécies e variedades de bambu. Instituto de Pesquisas Florestais – IPEF, v.36, p.13-17, 1997.
- 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, p.1213-1218, 2004.
- Corrêa, J.C.; Bull, L.T.; Crusciol, C.A.C.; Marcelino, R.; Mauad, M. Correção da acidez e mobilidade de íons em Latossolo com aplicação superficial de escória, lama de cal, lodos de esgoto e calcário. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.42, n.9, p.1307-1317, 2007.
- Costa, P.C.; Cañizares, K.A.L.; Goto, R. Produção de pepino de plantas enxertadas cultivadas em soluções nutritivas com diferentes teores de potássio. *Horticultura Brasileira*, v.19, n.3, p.207-209, 2001.
- Fageria, N.K.; Baligar, V.C.; Clark, R.B. Micronutrients in crop production. *Advances in Agronomy*, v.77, p.185-268, 2002.
- Finck, A. Fertilizers and fertilization - introduction and practical guide to crop fertilization. New York: Verlag Chemie GmbH, 1982. 438 p.
- Herbert, M.A. The influence of site factors on the foliar nutrient content of *Eucalyptus grandis* in Natal. *South African Forestry Journal*, n. 156, p. 28-34. 1991.
- Kleinhenz, V.; Midmore, D.J. Aspects of bamboo agronomy. *Advances in Agronomy*, v.74, p.99-149, 2001.
- Lavres Junior, J. Combinações de dose de nitrogênio e potássio para o capim-maniçoba, São Paulo: USP, 2001. 103p. Dissertação Mestrado

- Leite, S. M. M.; Marino, C. L.; Bonine, C. A. V. Respostas de clones de *Eucalyptus grandis* e *E. grandis* x *E. urophylla* à supressão de boro. Rev. Sci. For, v. 38, p. 19-25, 2010.
- Malavolta, E. Elementos de nutrição mineral de plantas. Ed. Agronômica Ceres. São Paulo, 1980. 251p.
- Medeiros J.C.; Mafra A.L.; Albuquerque J.A.; Rosa J.D. & Gatiboni L.C. Relação cálcio: magnésio do corretivo da acidez do solo na nutrição e no desenvolvimento inicial de plantas de milho em um Cambissolo Húmico álico. Semina: Ci. Agr., 19:93-98, 2008.
- Nurmesniemi, H.; Pöykio, R.; Perämäki, P. et al. The use of a sequential leaching procedure for heavy metal fractionation in green liquor dregs from a causticizing process at a pulp mill. Chemosphere, v.61, p.1475-1484, 2005.
- Oliveira, F.C.; Mattiazzo, M.E.; Marciano, C.R.; Rosseto, R. Efeitos de aplicações sucessivas de lodo de esgoto em Latossolo Amarelo distrófico cultivado com cana-de-açúcar: carbono orgânico, condutividade elétrica, pH e CTC. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.26, p.505-519, 2002.
- Orlando Filho, J.O.; Bittencourt, V.C.; Carmello, Q.A.C. & Beauclair, E.G.F. Relações K, Ca e Mg de solo Areia Quartzosa e produtividade da cana-de-açúcar. STAB, 14:13-17, 1996.
- Paim, R. M. Efeito da aplicação de lama de cal e cloreto de potássio sobre as varáveis químicas e biológicas do solo, estado nutricional e crescimento do *Pinus taeda* L. sobre latossolo em Três Barras. Paraná: UFPR, 2007. 120 p. Dissertação de Mestrado.
- Pires, C. B.; Silveira, F. C. S. A evolução da evidenciação das informações ambientais de empresas do setor de celulose e papel: uma análise de conteúdo das notas explicativas e relatórios de administração. Revista Con Texto, v. 8, n. 13, 2008.
- Raij, B. V. Fertilidade do solo e adubação. Piracicaba: Agronômica Ceres/POTAFOS, 1991. 343p.
- Ramos, L.A.; Nolla, A.; Korndörfer, G.H.; Pereira, H.S.; Camargo, M.S. Reatividade de corretivos da acidez e condicionadores de solo em colunas de lixiviação. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.30, p.849-857, 2006.
- Reissmann, C.B. Exigências nutricionais nos plantios de *Pinus*. Rev. da Madeira, Ed. Especial: *Pinus*, uma alternativa de mercado, v. 12, n. 68, 2002.

- Ribeiro, A. S. Carvão de bambu como fonte energética e outras aplicações. Maceió: Instituto do Bambu, 2005. 190p.
- Ribeiro, J. S. Efeito de potássio em plantas jovens de *Bambusa vulgaris* Schared ex Wendland cultivadas em sistema hidropônico. Recife: UFRPE, 2008. 54p. Dissertação de Mestrado
- Rodrigues, C. M. efeito da aplicação de resíduo da indústria de papel e celulose nos atributos químicos, físicos e biológicos do solo, na nutrição e biomassa do *Pinus taeda* L. Curitiba: UFPR, 2004. 121p. Dissertação Mestrado
- Silva, F.A.S.; Azevedo, C.A.V. Versão do programa computacional Assistat para o sistema operacional Windows. Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais, Campina Grande, v.4,n.1, p.71-78. 2002.
- Simonete, M.A.; Kiehl, J.C.; Andrade, C.A. et al. Efeito do lodo de esgoto em um Argissolo e no crescimento e nutrição de milho. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.38, p.1187- 1195, 2003.
- Soares, N. S.A.; Oliveira,R. J.; Carvalho, K. H. A.; Silva, M. L.; Jacovine, L. A. G.; Valverde, S. R. Cadeia produtiva da celulose e do papel no brasil. Revista Floresta, v. 40, n. 1, p. 1-22, 2010.
- Zambrano, M.; Parodi, V.; Gallardo, F. & Vidal, G. Characterization of “dregs” and grits from cellulose paste industry: Study for its application to acid soils. Afinidad, 60:16-25, 2003.

6. ANEXO

6.1. REGRAS PARA ENVIO DE TRABALHO PARA A REVISTA AGRIAMBI (REVISTA BRASILEIRA DE ENGENHARIA AGRÍCOLA E AMBIENTAL)

As normas da Revista Agriambi, apresentadas a seguir, estão sujeitas a modificações ao longo do tempo; desta forma, sugerimos aos autores consultá-las no momento de submissão de seus artigos. Os artigos submetidos não devem ter sido enviados a outro periódico e serão encaminhados para avaliação apenas quando estiverem integralmente dentro das normas da Revista. Para elucidar mais ainda os autores quanto às normas da Revista, lhes é fornecido o **MODELO DE ARTIGO**.

Os autores deverão solicitar, à especialista, a correção ortográfica de Português, Inglês e/ou Espanhol de seus artigos, antes de submetê-los ou devolvê-los à Revista, em qualquer etapa de tramitação. Artigos com problemas de ortografia serão prejudicados na avaliação.

Línguas e áreas de estudo

Os artigos científicos submetidos à Revista AGRIAMBI devem ser inéditos, podendo ser elaborados em Português, Inglês ou Espanhol e devem ser produto de pesquisa nas áreas de Manejo de Solo, Água e Planta, Engenharia de Irrigação e Drenagem, Meteorologia e Climatologia Agrícola, Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas, Gestão e Controle Ambiental (esta área contempla apenas artigos que descrevam pesquisas sobre a gestão e o controle ambiental no contexto da agropecuária), Construções Rurais e Ambiência, Automação e Instrumentação, Máquinas Agrícolas e, finalmente, Energia na Agricultura. A Revista não publica trabalhos de cunho puramente técnico e/ou de extensão. Enfatiza-se, ainda, que aqueles trabalhos que descrevem simplesmente o desenvolvimento de softwares/planilhas eletrônicas, não serão aceitos para publicação.

Composição sequencial do artigo

a) Título: engloba, com no máximo 15 palavras, o conteúdo e o objetivo do trabalho, incluindo-se os artigos, as preposições e as conjunções. Apenas a primeira letra da primeira palavra deve ser maiúscula; entretanto, quando o título tiver um subtítulo, ou seja, com dois pontos (:), a primeira letra da primeira palavra do subtítulo (ao lado direito dos dois pontos) deve ser maiúscula. O título não deverá ter as palavras efeito, avaliação, influência nem estudo.

b) Nome(s) do(s) autor(es):

- Deverá(ao) ser separado(s) por vírgula, sendo por extenso apenas o primeiro nome e o último sobrenome de cada autor, nos quais somente a primeira letra deve ser maiúscula e o último nome separado por &.
- Colocar referência de nota no final do último sobrenome de cada autor para fornecer, logo abaixo, endereço institucional, incluindo telefone, fax e email. Os autores pertencentes a uma mesma instituição devem ser referenciados por uma única nota; no entanto, em se tratando de Universidades, deverá haver uma nota para cada Departamento: exemplo de nota: DCA/UFCG, Av. Aprígio Veloso 882, Bodocongó, CEP 58429-140, Campina Grande, PB. Fone(s): (83) 2101-1202; 2101-1201. email(s): bernardo@dca.ufcg.edu.br; vicente@dca.ufcg.edu.br. Colocar C.P. quando houver caixa postal. Não se coloca ponto ao final de cada nota.
- O artigo deverá ter, no máximo, seis autores.
- Em relação ao que consta na primeira versão do artigo submetida à Revista, não serão permitidas alterações posteriores na sequência nem nos nomes dos autores.

- c) Resumo: no máximo com 15 linhas e não ter abreviaturas.
- d) Palavras-chave: no mínimo três e no máximo cinco, não constantes no Título, separadas por vírgula e com todas as letras minúsculas.
- e) Título em inglês: terá a mesma normatização do título em Português.
- f) Abstract: no máximo com 15 linhas, devendo ser tradução fiel do Resumo. A casa decimal dos números deve ser indicada por ponto ao invés de vírgula.
- g) Key words: terá a mesma normatização das palavras-chave e deverá ser uma tradução fiel das palavras-chave.
- h) Introdução: destacar a relevância da pesquisa, inclusive através de revisão de literatura, em no máximo 2 páginas. Não devem existir, na Introdução, equações, tabelas, figuras nem texto teórico básico sobre determinado assunto mas, sim, referentes a resultados de pesquisa. O último parágrafo deve apresentar o objetivo da pesquisa.
- i) Material e Métodos: deve conter informações imprescindíveis que possibilitem a repetição da pesquisa, por outros pesquisadores.
- j) Resultados e Discussão: os resultados obtidos devem ser discutidos e interpretados à luz da literatura. Não apresentar os mesmos resultados em tabelas e figuras.
- k) Conclusões: devem ser numeradas e escritas de forma sucinta, isto é, sem comentários nem explicações adicionais, baseando-se apenas nos resultados apresentados. Não devem possuir abreviaturas.
- l) Agradecimentos (facultativo)
- m) Literatura Citada:
- O artigo submetido deve ter no mínimo 70% de citações de periódicos, sendo 40% dos últimos oito anos.
 - Não serão aceitas citações bibliográficas do tipo apud ou citado por, ou seja, as citações deverão ser apenas das referências originais.
 - Citações de artigos no prelo, comunicação pessoal, folder, apostila, monografia, texto de internet e trabalhos em congressos, não são aceitos na elaboração dos artigos. Os trabalhos em congressos serão aceitos apenas quando inexistirem publicações em periódicos sobre o tema em questão.
 - Em determinada contextualização, citação de mais de uma referência bibliográfica deve, primeiro, atender a ordem cronológica e, depois, a ordem alfabética dos autores; já em citação de mais de uma referência bibliográfica dos mesmos autores, não se deve repetir seu nome; entretanto, os anos de publicação devem ser separados por vírgula.

- O artigo deverá ter, no mínimo, 10 citações bibliográficas.

Para os artigos escritos em Inglês, título, resumo e palavras-chave deverão, também, constar em Português e, para os artigos em Espanhol, em Inglês vindo, em ambos os casos, primeiro no idioma principal.

Os artigos subdivididos em partes I, II etc, devem ser submetidos juntos, pois serão encaminhados aos mesmos consultores.

A contribuição na forma de Revisão de Literatura deverá ter a seguinte composição sequencial: título, nome dos autores, endereços institucionais e eletrônicos, Resumo, Palavras-chave, Título em inglês, Abstract, Key words, Introdução, Itens sobre temas da revisão, Conclusões, Literatura Citada.

Edição do texto

a) Processador: Word for Windows

b) Texto: fonte Times New Roman, tamanho 12. Não deverão existir no texto palavras em negrito nem em itálico, exceto para o título, itens e subitens, que deverão ser em negrito, e os nomes científicos de espécies vegetais e animais, que deverão ser em itálico. Em equações, tabelas e figuras não deverão existir itálico nem negrito. As equações deverão ser escritas no aplicativo MS Equation. Evitar parágrafos muito longos devendo, preferencialmente, ter no máximo 60 palavras.

c) Espaçamento: duplo entre o título, nome(s) do(s) autor(es), resumo e abstract; simples entre item e subitem e no texto, espaço 1,5.

d) Parágrafo: 0,5 cm.

e) Página: Papel A4, orientação retrato, margens superior e inferior de 2,54 cm e esquerda e direita de 3,00 cm, no máximo de 20 páginas não numeradas, incluindo-se tabelas e figuras.

f) Todos os itens em letras maiúsculas, em negrito e centralizados, exceto Resumo, Abstract, Palavras-chave e Key words, que deverão ser alinhados à esquerda e apenas a primeira letra maiúscula. Os subitens deverão ser alinhados à esquerda, em negrito e somente a primeira letra maiúscula.

g) As grandezas devem ser expressas no SI (Sistema Internacional) e a terminologia científica deve seguir as convenções internacionais de cada área em questão.

h) Tabelas e Figuras (gráficos, mapas, imagens, fotografias, desenhos)

- As tabelas e figuras devem ser autoexplicativas e apresentarem largura de 9 ou 18 cm, com texto em fonte Times New Roman, tamanho 9, e ser inseridas logo abaixo do parágrafo no qual foram citadas a primeira vez. Exemplos de citações no texto: Figura 1; Tabela 1. Tabelas e figuras que possuem praticamente o mesmo título deverão ser agrupadas em uma

única tabela ou figura criando-se, no entanto, um indicador de diferenciação. A letra indicadora de cada subfigura em uma figura agrupada deve ser maiúscula e com um ponto (exemplo: A.), posicionada ao lado esquerdo superior da figura. As figuras agrupadas devem ser citadas no texto, da seguinte forma: Figura 1A; Figura 1B; Figura 1C. As tabelas e figuras com 18 cm de largura ultrapassarão as margens esquerda e direita de 3 cm, sem nenhum problema.

- As tabelas não devem ter tracejado vertical e o mínimo de tracejado horizontal. Nas colunas os valores numéricos deverão ser alinhados pelo último algarismo. Exemplo do título, o qual deve ficar acima da tabela: Tabela 1. Estações do INMET selecionadas (sem ponto no final). Em tabelas que apresentam a comparação de médias, segundo análise estatística, deverá haver um espaço entre o valor numérico (média) e a letra. As unidades deverão estar entre parêntesis.
- As figuras não devem ter bordadura e suas curvas (no caso de gráficos) deverão ter espessura de 0,5 pt, podendo ser coloridas mas possuindo, sempre, marcadores de legenda diversos, porque legendas baseadas apenas em cores quando xerocadas desaparecerão. Exemplo do título, o qual deve ficar abaixo da figura: Figura 1. Perda acumulada de solo em função do tempo de aplicação da chuva simulada (sem ponto no final). Para não se tornar redundante, as figuras não devem ter dados constantes em tabelas. Se o título e a numeração dos eixos x e/ou y forem iguais em figuras agrupadas, deixar só um título centralizado e a numeração em apenas um eixo. Gráficos, diagramas (curvas em geral) devem vir em imagem vetorial. Quando se tratar de figuras bitmap (mapa de bit), a resolução mínima deve ser de 300 bpi. Os autores deverão primar pela qualidade de resolução das figuras, tendo em vista a boa compreensão sobre elas. As unidades nos eixos das figuras devem estar entre parêntesis mas sem ser separadas do título por vírgula.

Exemplos de citações no texto

- a) Quando a citação possuir apenas um autor: Zonta (2010) ou (Zonta, 2010).
- b) Quando a citação possuir dois autores: Mielniczuk & Tornquist (2010) ou (Mielniczuk & Tornquist, 2010).
- c) Quando a citação possuir mais de dois autores: Pezzopane et al. (2010) ou (Pezzopane et al., 2010).

Quando a autoria do trabalho for uma instituição/empresa, a citação deverá ser de sua sigla, em letras maiúsculas. Exemplo: EMBRAPA (2010).

Lista da Literatura Citada

As bibliografias citadas no texto deverão ser dispostas na lista em ordem alfabética, pelo último sobrenome do primeiro autor e em ordem cronológica crescente e conter os nomes de todos os autores. A seguir, são apresentados exemplos de formatação:

a) Livros

Paz, V. P. S.; Oliveira, A.; Perreira, F. A.; Gheyi, H. R. Manejo e sustentabilidade da irrigação em regiões áridas e semiáridas. 1.ed. Cruz das Armas: UFRB, 2009. 344p.

b) Capítulo de livros

Antuniassi, U. R.; Baio, F. H. R. Tecnologia de aplicação de defensivos. In: Vargas, L.; Roman, E. S. Manual de manejo e controle de plantas daninhas. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2009. Cap.5, p.173-212.

c) Revistas

Silva, V. G. de F.; Andrade, A. P. de; Fernandes, P. D.; Silva, I. de F. da; Azevedo, C. A. V.; Araujo, J. S. Productive characteristics and water use efficiency in cotton plants under different irrigation strategies. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.14, p.451-457, 2010.

d) Dissertações e teses

Paixão, F. J. R. da. Doses de nitrogênio e conteúdo de água do solo no cultivo da mamoneira, variedade BRS Energia. Campina Grande: UFCG, 2010. 76p. Tese Doutorado

e) Trabalhos apresentados em congressos (Anais, Resumos, Proceedings, Disquetes, CD Roms)

Centeno, C. R. M.; Azevedo, C. A. V.; Santos, D. B. dos; Lira, V. M. de; Lima, V. L. A. de. Coeficiente de cultivo da mamona BRS energia irrigada com diferentes níveis de água salina. In: Congresso Latino-Americano e do Caribe de Engenharia Agrícola, 9, e Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 39, 2010, Vitória. Anais... Jaboticabal: SBEA, 2010. CD Rom.

No caso de CD Rom o título da publicação continuará sendo Anais, Resumos ou Proceedings mas o número de páginas será substituído pelas palavras CD Rom. Para as revistas disponibilizadas na internet não colocar nenhuma informação de endereço da página, conforme o exemplo acima (item c).

Outras informações sobre normatização de artigos

a) Não colocar ponto no final das palavras-chave, key words e títulos de tabelas e figuras.

b) Na descrição dos parâmetros e variáveis de uma equação deverá haver um traço separando o símbolo de sua descrição. A numeração de uma equação deverá estar entre parêntesis e alinhada à direita: exemplo: (1). As equações deverão ser citadas no texto, conforme os seguintes exemplos: Eq. 1; Eqs. 3 e 4.

c) Todas as letras de uma sigla devem ser maiúsculas; já o nome por extenso de uma instituição deve ter maiúsculo apenas a primeira letra de cada palavra.

d) Nos exemplos seguintes de citações no texto de valores numéricos, o formato correto é o que se encontra no lado direito da igualdade:

10 horas = 10 h; 32 minutos = 32 min; 5 litros = 5 L; 45 mililitros = 45 mL; $l/s = L s^{-1}$; $27^{\circ}C = 27^{\circ}C$; $0,14 m^3/min/m = 0,14 m^3 min^{-1} m^{-1}$; 100 g de peso/ave = 100 g de peso por ave; 2 toneladas = 2 t; $2 mm/dia = 2 mm d^{-1}$; $2 \times 3 = 2 \times 3$ (deve ser separado); $45,2 - 61,5 = 45,2 - 61,5$ (deve ser junto).

A % é a única unidade que deve estar junto ao número (45%). Quando no texto existirem valores numéricos seguidos, que possuem a mesma unidade, colocar a unidade somente no último valor. Exemplos: 20 m e 40 m = 20 e 40 m; 56,1%, 82,5% e 90,2% = 56,1, 82,5 e 90,2%.

e) Quando pertinente, deixar os valores numéricos no texto, tabelas e figuras com no máximo duas casas decimais.

f) Os títulos das bibliografias listadas devem ter apenas a primeira letra da primeira palavra maiúscula, com exceção de nomes próprios. O título de eventos deverá ter apenas a 1ª letra de cada palavra maiúscula.