



GREGÓRIO MATEUS SANTANA

**RESÍDUOS DE BAMBU (*Bambusa vulgaris*
Schard.) PARA A PRODUÇÃO DE CARVÃO
ATIVADO**

LAVRAS – MG

2014

GREGÓRIO MATEUS SANTANA

**RESÍDUOS DE BAMBU (*Bambusa vulgaris* Schard.) PARA A
PRODUÇÃO DE CARVÃO ATIVADO**

Dissertação apresentada à
Universidade Federal de Lavras, como
parte das exigências do Programa de
Pós-Graduação em Ciência e
Tecnologia da Madeira, área de
concentração Madeira como Matéria-
Prima, para obtenção do título de
Mestre.

Orientador

Dr. Paulo Fernando Trugilho

Coorientadores

Dr. Juarez Benigno Paes

PhD. José Tarcísio Lima

LAVRAS – MG

2014

GREGÓRIO MATEUS SANTANA

**EMPREGO DE RESÍDUOS DE BAMBU (*Bambusa vulgaris* Schard.) NA
PREPARAÇÃO DE CARVÃO ATIVADO**

Dissertação apresentada à
Universidade Federal de Lavras, como
parte das exigências do Programa de
Pós-Graduação em Ciência e
Tecnologia da Madeira, área de
concentração Madeira como Matéria-
Prima, para obtenção do título de
Mestre.

Aprovada em 18 de fevereiro de 2014.

Dr. Paulo Fernando Trugilho	UFLA
Dr. Juarez Benigno Paes	UFES
Dra. Maria Lúcia Bianchi	UFLA

Dr. Paulo Fernando Trugilho
Orientador

LAVRAS – MG

2014

**Ficha Catalográfica Elaborada pela Coordenadoria de Produtos e
Serviços da Biblioteca Universitária da UFLA**

Santana, Gregório Mateus.

Resíduos de bambu (*Bambusa vulgaris* Schard.) para produção
de carvão ativado / Gregório Mateus Santana. – Lavras : UFLA,
2014.

72 p. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2014.

Orientador: Paulo Fernando Trugilho.

Bibliografia.

1. Aproveitamento de resíduos. 2. Tratamento de contaminantes
do meio ambiente. 3. Carvão ativado. I. Universidade Federal de
Lavras. II. Título.

CDD – 662.93

“Aquele negócio que a cabeça da gente começa a se interessar é uma fatalidade que você não pode se livrar. Não há bom senso, não há carro velho, não há ameaça de fome (...) não há nada que possa te tirar do fato de você ser vítima das suas próprias idéias.”

Tom Zé

“E me fala de coisas bonitas que eu acredito que não deixarão de existir: Amizade, palavra, respeito, caráter, bondade, alegria e amor. Pois não posso, não devo, não quero, viver como toda essa gente insiste em viver, e não posso aceitar sossegado, qualquer sacanagem ser coisa normal (...).”

Milton Nascimento e Fernando Brant

Às pessoas, minha família, namorada e amigos.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Lavras e ao Departamento de Química da UFLA, que cordialmente me receberam em suas instalações, propiciando a execução deste trabalho; e à CAPES, pela concessão da bolsa de estudo.

Aos professores da UFLA, Dr. Paulo Fernando Trugilho, Dra. Maria Lúcia Bianchi e Ph.D. José Tarcísio Lima pelas orientações na construção deste trabalho. Professor Dr. Fábio Akira Mori pela exigência no aprofundamento dos conteúdos dados em sala de aula. Professores Ph.D. Paulo R. Gheradi Hein e Dr. Gustavo H. Denzin Tonoli pelos aprendizados sobre eficiência na prática científica.

Aos professores Dr. Carlos Roberto de Lima (UFCG) e Dr. Juarez Benigno Paes (UFES) pela prontidão e longa amizade construída.

Ao amigo M.Sc. William Miguel da Silva Borges (Will), pelas orientações e ensinamentos dados em todas as etapas deste trabalho.

Ao doutorando João Rodrigo C. Nobre pelas sugestões dadas e a doutoranda Alessandra de S. Fonseca pelo auxílio na análise de MEV.

À empresa CEPASA – Celulose e Papel de Pernambuco S.A., empresa pertencente ao Grupo Industrial João Santos, pelo apoio logístico, coleta e envio do material de estudo.

A Deus, Jesus e Maria, minha família, namorada, amigos, e a todos que contribuíram de forma direta ou indireta na construção deste trabalho.

*“Escolha um trabalho que você gosta e não terá que trabalhar um único dia
em sua vida.”*

Confúcio

RESUMO

Resíduos de Bambu (*Bambusa vulgaris* Schard.) foram utilizados como material precursor na preparação de vários tipos de carvão ativados. Para o preparo dos carvões ativados – CAs foram aplicadas dois tipos de ativações: 1) ativação física com dióxido de carbono (CO_2) e vapor-d'água (H_2O); e 2) ativação química, com um sal (cloreto de zinco - ZnCl_2), um ácido (ácido fosfórico - H_3PO_4) e uma base (hidróxido de sódio - NaOH). Os carvões ativados obtidos foram caracterizados por análise elementar (CHNS), microscopia eletrônica de varredura (MEV), método titulométrico de Boehm (BOEHM) e área superficial por azul de metileno (S_{AM}). Os materiais foram testados quanto à capacidade de adsorção de contaminantes do meio ambiente: azul de metileno, fenol, íon Cr^{+6} . Todos os carvões ativados obtidos apresentaram alto rendimento e os materiais obtidos por ativação química obtiveram maior rendimento que os ativados fisicamente. Pela análise elementar, verificou-se, após a pirólise e a ativação do resíduo de bambu, aumento dos teores de carbono e diminuição dos teores de oxigênio e hidrogênio. As micrografias mostraram que as morfologias dos carvões produzidos são diferentes entre si e variaram de acordo com o tipo de impregnação utilizada, do material precursor, carvão vegetal e carvão ativado comercial. Pelo método titulométrico de Boehm, verificou-se que os materiais ativados fisicamente apresentam menor acidez total que os ativados quimicamente, e que a ativação química elevou-se a quantidade de grupos carboxílicos. Os vários carvões ativados produzidos demonstraram como bons adsorventes dos contaminantes testados. O CA ZnCl_2 e CA H_2O foram os mais eficientes na adsorção do azul de metileno. O CA ZnCl_2 , CA CO_2 , CA H_2O e o CA H_3PO_4 foram os melhores adsorventes para o fenol, enquanto apenas o CA ZnCl_2 , CA H_3PO_4 e CA comercial adsorveram o cromo hexavalente - Cr^{+6} . O CA ZnCl_2 foi o que apresentou maior área superficial ($1319,16 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$). Os carvões ativados produzidos apresentaram resultados iguais ou superiores ao carvão ativado comercial.

Palavras-chave: *Bambusa vulgaris* Schard. Carvão ativado. Aproveitamento de resíduos. Tratamento de contaminantes do meio ambiente.

ABSTRACT

Bamboo waste (*Bambusa vulgaris* Schard.) were used as a precursor material in the preparation of various types of activated charcoal. For the preparation of activated charcoal (ACs) two types of activations were applied: 1) a physical activation with carbon dioxide (CO₂) and water vapor (H₂O); and 2) chemical activation with a salt (zinc chloride - ZnCl₂), an acid (phosphoric acid - H₃PO₄) and a base (sodium hydroxide - NaOH). The activated charcoals obtained were characterized by elemental analysis (CHNS), scanning electron microscopy (SEM), Boehm titration method (BOEHM) and surface area per methylene blue (S_{AM}). The materials were tested for their ability to adsorb contaminants of the environment: methylene blue, phenol and ion Cr⁺⁶. All activated charcoal showed high yield and the material obtained by chemical activation had higher income that enabled them physically. By elemental analysis, it was found, after pyrolysis and activation of the bamboo residue increased of carbon levels and decrease of oxygen levels and hydrogen. The micrographs showed that the morphology of charcoal produced are different between them and varied according to the impregnation type used, the precursor material, charcoal and commercial activated charcoal. By the Boehm titration method is noted that materials activated physically have a lower total acidity of the chemically activated and that the chemical activation increased the amount of carboxylic groups. The various activated charcoal produced demonstrated how good adsorbents of contaminants tested. The CA ZnCl₂ and CA H₂O were the most efficient in the adsorption of methylene blue. The CA ZnCl₂, CA CO₂, CA H₂O and CA H₃PO₄ were the best adsorbent for phenol, while only the CA ZnCl₂, CA H₃PO₄ and CA commercial adsorbed the hexavalent chromium - Cr⁺⁶. The CA ZnCl₂ was the only one that exhibited the largest surface area (1319.16 m²g⁻¹). The activated charcoal produced showed results equal or higher than the commercial activated charcoal.

Keywords: *Bambusa vulgaris* Schard. Activated charcoal. Waste recovery. Treatment of environmental contaminant.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Mapa de distribuição geográfica do bambu no mundo. Fonte: Hidalgo Lopez (2003).....	20
Figura 2 Bambu do tipo leptomorfo – alastrantes. Fonte: Apuama (2014).....	23
Figura 3 Bambu do tipo paquimorfo – entouceirantes. Fonte: Apuama (2014).	24
Figura 4 Representação esquemática da estrutura do carvão ativado. Fonte: Rodríguez-Reinoso (1998 citado por COUTO, 2009).....	30
Figura 5 Resíduos de <i>Bambusa vulgaris</i> Schard., provenientes da CEPASA S.A.....	31
Figura 6 Forno tubular utilizado para ativação física e química.	32
Figura 7 Representação da produção de CA por ativação química. Fonte: adaptado de Couto (2009).....	33
Figura 8 Representação do forno utilizado na preparação do CA. Fonte: adaptado de Brum et al. (2008).	33
Figura 9 Aparelho utilizado para obtenção das micrografias de MEV.	35
Figura 10 Titulador utilizado para obtenção da acidez de Boehm.	36
Figura 11 Aparelho utilizado para obtenção das concentrações nos testes de cinética e isoterma de adsorção.....	38
Figura 12 Preparação dos materiais para os testes de adsorção.	39
Figura 13 Carvão ativado produzido quimicamente com $ZnCl_2$	43
Figura 14 Micrografias do resíduo de bambu.	45
Figura 15 Micrografias do carvão vegetal.	45
Figura 16 Micrografias do CA H_2O	46
Figura 17 Micrografias do CA CO_2	46
Figura 18 Micrografias do CA $ZnCl_2$	47
Figura 19 Micrografias do CA H_3PO_4	47

Figura 20 Micrografias do CA NaOH.....	48
Figura 21 Micrografias do CA comercial.....	48
Figura 22 Cinética de adsorção do azul de metileno 50 mg L ⁻¹ (10 mg de CA; 10 mL de solução; pH = 6,0; agitação mecânica de 100 rpm; temperatura ambiente).....	53
Figura 23 Cinética de adsorção do fenol 50 mg L ⁻¹ (10 mg de CA; 10 mL de solução; pH = 6,8; agitação mecânica de 100 rpm; temperatura ambiente).....	55
Figura 24 Cinética de adsorção do Cr ⁺⁶ 50 mg L ⁻¹ (10 mg de CA; 10 mL de solução; pH = 5,0; agitação mecânica de 100 rpm; temperatura ambiente).....	56
Figura 25 Isotermas de adsorção de azul de metileno (10 mg de CA; 10 mL de solução; pH = 6; agitação mecânica de 100 rpm; temperatura ambiente).....	58
Figura 26 Materiais produzidos em processo de adsorção do azul de metileno.....	59
Figura 27 Isotermas de adsorção de fenol (10 mg de CA; 10 mL de solução; pH = 6,8; agitação mecânica de 100 rpm; temperatura ambiente).....	60
Figura 28 Isotermas de adsorção de Cr ⁺⁶ (10 mg de CA; 10 mL de solução; pH = 5,0; agitação mecânica de 100 rpm; temperatura ambiente).....	62

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Áreas reflorestadas com bambu.....	20
Tabela 2 Produtividade de algumas espécies de bambu.....	24
Tabela 3 Número de rotações e ciclos de produção para o bambu como matéria-prima para fabricação de celulose e papel.....	25
Tabela 4 Rendimento percentual dos materiais produzidos.	42
Tabela 5 Composição elementar dos materiais.....	44
Tabela 6 Grupos funcionais na superfície dos materiais analisados.	50
Tabela 7 Área superficial estimada dos materiais produzidos.....	51
Tabela 8 Parâmetros de Langmuir e Freundlich para a adsorção de azul de metileno.	58
Tabela 9 Parâmetros de Langmuir e Freundlich para a adsorção de fenol.	60
Tabela 10 Parâmetros de Langmuir e Freundlich para a adsorção de Cr ⁺⁶	62

LISTA DE ABREVIATURAS

AM	Azul de Metileno
CA	Carvão ativado
CAs	Carvões ativados
CA CO ₂	Carvão ativado com dióxido de carbono
CA comercial	Carvão ativado comercial
CA H ₂ O	Carvão ativado com vapor-d'água
CA H ₃ PO ₄	Carvão ativado com ácido fosfórico
CA NaOH	Carvão ativado com hidróxido de sódio
CA ZnCl ₂	Carvão ativado com cloreto de zinco
CHNS	Análise elementar: carbono, hidrogênio, nitrogênio e enxofre
MEV	Microscopia eletrônica de varredura
S _{AM}	Área superficial por azul de metileno (m ² g ⁻¹)

LISTA DE SIGLAS

CEPASA	Celulose e Papel de Pernambuco S.A.
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
MCT	Ministério da Ciência e Tecnologia
MMA	Ministério do Meio Ambiente
PNMCB	Política de incentivo ao manejo sustentado e ao cultivo do bambu
RBB	Rede Brasileira do Bambu
SBRT	Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas
SNF	Secretaria Nacional de Florestas
UFLA	Universidade Federal de Lavras

LISTA DE SÍMBOLOS

m_f	Massa final do carvão ativado (g)
m_0	Massa do precursor (g)
q_m	Capacidade máxima de adsorção obtida do modelo de Langmuir (mg g^{-1})
S°_{AM}	Área superficial da molécula de azul de metileno ($\text{m}^2 \text{g}^{-1}$)
λ	Comprimento de onda (nm)
C_0	Concentração inicial (mg L^{-1})
C_{eq}	Concentração do adsorbato no equilíbrio (mg L^{-1})
m	Massa do adsorvente (g)
K_L	Constante de equilíbrio de Langmuir (L mg^{-1})
q_{eq}	Quantidade adsorvida no equilíbrio (mg L^{-1})
K_F	Constante de Freundlich ($(\text{mg g}^{-1}) (\text{L g}^{-1})^{1/n}$)
$1/n$	Intensidade de sorção obtida do modelo de Freundlich

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
2	REFERENCIAL TEÓRICO	19
2.1	Complexidade - A visão holística	19
2.2	Bambu como matéria-prima	19
2.3	Características, crescimento e produtividade do bambu	22
2.4	Emprego do bambu	26
2.5	Resíduos vegetais	27
2.6	Aproveitamento de resíduos	28
2.7	Carvão ativado	29
3	MATERIAL E MÉTODOS	31
3.1	Obtenção dos resíduos de bambu	31
3.2	Produção dos carvões ativados	31
3.2.1	Rendimento gravimétrico em carvão ativado - RCA	34
3.3	Caracterização dos carvões ativados	34
3.3.1	Análise elementar - CHNS	34
3.3.2	Microscopia eletrônica de varredura - MEV	34
3.3.3	Método titulométrico de BOEHM - BOEHM	34
3.3.4	Área superficial por azul de metileno - S_{AM}	36
3.4	Testes com os carvões ativados	37
3.4.1	Cinética de adsorção	37
3.4.2	Testes de adsorção	38
3.4.2.1	Modelo de Langmuir	40
3.4.2.2	Modelo de Freundlich	40
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
4.1	Produção dos carvões ativados	42
4.1.1	Rendimento gravimétrico em carvão ativado - RCA	42

4.2	Caracterização dos carvões ativados	43
4.2.1	Análise elementar - CHNS	43
4.2.2	Microscopia eletrônica de varredura - MEV	45
4.2.3	Método titulométrico de Boehm - BOEHM	49
4.2.4	Área superficial por azul de metileno - S_{AM}	51
4.3	Testes com os carvões ativados	52
4.3.1	Cinética de adsorção	52
4.3.1.1	Azul de metileno	52
4.3.1.2	Fenol	54
4.3.1.3	Cromo hexavalente - Cr⁺⁶	56
4.3.2	Isotermas de adsorção e parâmetros de Langmuir e Freundlich	57
4.3.2.1	Azul de metileno	57
4.3.2.2	Fenol	59
4.3.2.3	Cromo hexavalente - Cr⁺⁶	61
5	CONCLUSÃO	64
6	RECOMENDAÇÃO	66
	REFERÊNCIAS	67

1 INTRODUÇÃO

“O novo paradigma do mundo pode ser chamado de uma visão de mundo holística, que concebe o mundo como um todo integrado, e não como uma coleção de partes dissociadas”. Assim, reconhece a interdependência fundamental de todos os fenômenos e que, enquanto “indivíduos e sociedades, estamos todos encaixados nos processos cíclicos da natureza e, em última análise, dependentes desses processos” (CAPRA, 1996).

Nessa baila, inconcebível não trazer a celeuma o conhecimento do Brasil como portador de imensurável biodiversidade, isso sem levar em conta sua “relevante área propícia ao cultivo, a possibilidade de implantação de diferentes culturas, a posição no Globo [favorável a intensa radiação durante o ano], a dinâmica climática tropical, requisitos tais o que colocam numa instância privilegiada das ciências agrárias” (PAULA, 2010), restado configurada, pois, sua posição sólida enquanto detentor da biomassa.

Nos estados do Nordeste brasileiro, com áreas cultivadas com bambu (*Bambusa vulgaris* Schard.), destacam-se o Maranhão, Pernambuco e Paraíba, onde o Grupo Industrial João Santos, utiliza-se de tal matéria-prima para fabricação de celulose e papel. A demanda por essa espécie de bambu, associada ao seu potencial, velocidade de crescimento, e quantidade de matéria seca produzida por hectare, torna viável sua utilização, que como consequência acarreta a geração de grandes quantidades de resíduos.

Resíduos são considerados a sobra após uma ação ou processo produtivo passando a ser descartados e acumulados no meio ambiente. Várias são as possibilidades para o aproveitamento e destinação dos resíduos, e nesse contexto, seu aproveitamento na elaboração de um produto de maior valor econômico, com destaque para o carvão ativado, utilizado como adsorvente em múltiplas finalidades é uma alternativa viável.

Carvão ativado é um material poroso, de superfície interna elevada e alta capacidade de adsorção, que tem sido utilizado na remoção de compostos orgânicos e metais pesados, tratamento de água, recuperação de produtos químicos, em processos de purificação, etc.

A produção de carvão ativado brasileira mostra-se insuficiente frente às suas reais necessidades, tendo que importar o produto devido à demanda ser bem maior que a oferta dos mesmos (BORGES et al., 2003). Assim, estudos na preparação de carvão ativado a partir de resíduos da indústria podem trazer benefícios econômicos, ambientais, políticos e sociais.

Nesse contexto, este trabalho teve por objetivo produzir e avaliar a qualidade dos carvões ativados preparados a partir de resíduos de bambu (*Bambusa vulgaris* Schard.) gerados por uma indústria de celulose e papel.

São objetivos específicos: produzir carvões ativados por processos de ativação física (com vapor-d'água e dióxido de carbono) e química (com cloreto de zinco, ácido fosfórico e hidróxido de sódio); caracterizar os materiais ativados obtidos; aplicar os materiais obtidos produzidos como adsorvente de poluentes orgânicos (azul de metileno e fenol) e metal pesado (Cr^{+6}); e comparar os materiais obtidos com o resíduo, carvão vegetal e carvão ativado comercial.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Complexidade - A visão holística

Há soluções para os principais problemas dos tempos atuais. Algumas delas beiram até mesmo a simplicidade, mas que requerem uma mudança radical nas percepções habituais, nos pensamentos e nos valores corriqueiros. De fato, vive-se atualmente no princípio dessa mudança fundamental de visão do mundo, na ciência e na sociedade, uma mudança de paradigmas, fincadas em um contexto de complexidade (CAPRA, 1996; MALVEZZI, 2007; MORIN, 1977; MORIN, 2003; SANTANA, 2011).

2.2 Bambu como matéria-prima

Os bambus pertencem à família Poaceae e subfamília Bambusoideae, algumas vezes tratados como pertencentes à família Bambusaceae. Ocorrem com maior incidência nas regiões tropicais e subtropicais da Ásia, África e América do Sul (HIDALGO LOPEZ, 2003).

“Com aproximadamente 1100 espécies, divididas em cerca de 90 gêneros” (VASCONCELLOS, 2013) os “bambus crescem naturalmente em todos os continentes, exceto Europa, sendo que 62% das espécies são nativas da Ásia, 34% das Américas e 4% da África e Oceania” (HIDALGO LOPEZ, 2003). A Figura 1 ilustra a distribuição geográfica do bambu no mundo.

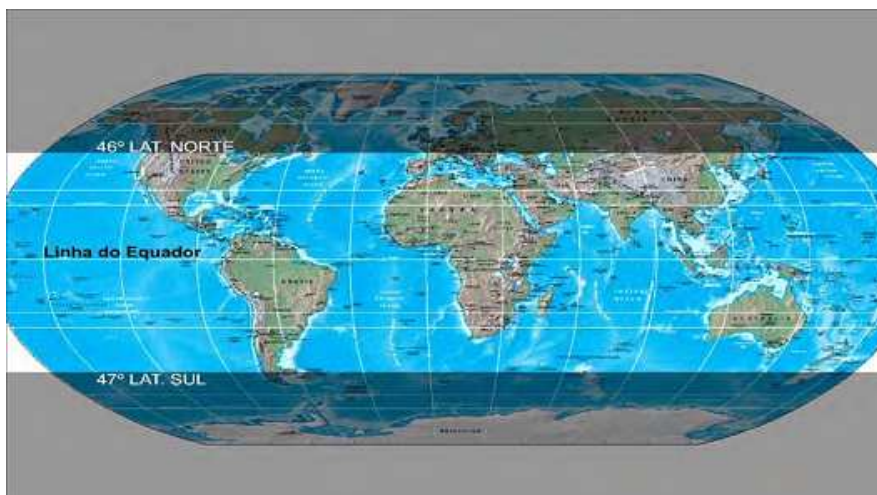


Figura 1 Mapa de distribuição geográfica do bambu no mundo
 Fonte: Hidalgo Lopez (2003)

No planeta, existem, aproximadamente, 20 milhões de hectares de áreas reflorestadas com bambu, possuindo a China e Índia as maiores áreas (14,5 milhões de hectares). Na China e na Índia o bambu é tido como uma planta de grande importância econômica, com grande demanda e produção, e incentivada ano a ano ao aumento das áreas reflorestadas (Tabela 1).

Tabela 1 Áreas reflorestadas com bambu

Áreas reflorestadas (ha)	País	Fonte / ano
20.000.000 (total)	No planeta	Maoyi (2005)
7.500.000 (total)	Índia	Varmah e Pant (1980)
7.000.000 (total)	China	Fu e Barnik (1995)
136.000	Brasil	Beraldo et al. (2004)
123.000	Japão	Koishiro (1981)

Fonte: adaptado de Ostapiv (2007)

No Brasil destacam-se 136.000 de hectares de áreas reflorestadas com bambu, da qual cerca de 80.000 hectares pertencem às unidades de celulose e

papel do Grupo Industrial João Santos, possuindo plantios da espécie *Bambusa vulgaris* Schard., no Maranhão, Pernambuco e Paraíba.

O Grupo Industrial João Santos possui duas unidades de produção de celulose e papel, a ITAPAGÉ S.A. Celulose Papéis e Artefatos que fabrica papéis para cartões duplex para embalagens, localizada em Coelho Neto – MA e a CEPASA S.A. Celulose e Papel de Pernambuco S.A. que fabrica sacos multifoliados, localizada em Jaboatão dos Guararapes – PE.

De crescente importância para humanidade, o bambu é tido como “a madeira dos pobres”, na Índia, “o amigo das pessoas”, na China; no ocidente ainda é pouco notório, sendo associados a obras de pouca importância (PEREIRA; BERALDO, 2008). Há indícios de que a palavra bambu teve origem no forte barulho provocado pelo estouro dos seus colmos quando submetidos ao fogo, “bam-boo” (SILVA, 2006).

No Brasil, o bambu foi trazido pelos portugueses na época da colonização, sendo os mais comuns, os de espécies tropicais exóticas tais como o “*Bambusa vulgaris* (bambu-verde), *Bambusa vulgaris* var *vittata* (bambu imperial), *Bambusa tuldoides* (bambu comum), *Dendrocalamus gigante* (bambu gigante)” (COSTA, 2004). Sendo o bambu da espécie *Bambusa vulgaris* o mais disseminado no país.

“O Bambu produz bem em quase todos os tipos de solo” (COSTA, 2004). É uma planta tropical, perene, e que origina novos brotos sem a necessidade do replantio (MARINHO et al., 2012). Em espécies de pequeno porte é possível atingir sua altura máxima em apenas 30 dias e até 180 dias para as espécies de porte maiores (KLEINLEIN et al., 2010). Podendo algumas espécies crescer a uma taxa de até 40 cm ao dia.

Trata-se, portanto, de uma planta de fácil cultivo, longa vida útil, tendo acompanhado a humanidade desde o início, fornecendo abrigo, alimentação,

utensílios, carvão, papel, tecido, instrumentos musicais, e outros artefatos (COLLA; BERALDO; BRITO, 2011).

2.3 Características, crescimento e produtividade do bambu

Os bambus apresentam parte aérea constituída por colmo, folhas e ramificações e parte subterrânea composta por raízes e rizomas (SILVA, 2006). Segundo o Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas – SBRT (2007), os rizomas são os responsáveis pela propagação do bambu, sendo, cada ano, novos colmos originados, formando a parte aérea da planta.

Ao contrário das árvores, o bambu não possui câmbio vascular e, portanto, não tem anéis anuais de crescimento, que estão associados ao crescimento secundário (AHMAD; KAMKE, 2005).

A maior parte das espécies tem baixa resistência ao ataque de organismos xilófagos, como os fungos e insetos (CHUNG; CHENG; CHANG, 2009; PEREIRA; BERALDO, 2008), por causa da presença do amido em seu tecido parenquimatoso que o torna mais susceptível ao ataque desses organismos.

De maneira geral, o bambu possui boa estabilidade dimensional, porém é influenciado pela umidade quando abaixo do Ponto de Saturação das Fibras - PSF (OSTAPIV, 2007). Seus colmos são tão firmes quanto elásticos e flexíveis, ricos em sílica (COSTA, 2004) que agrega resistência mecânica ao bambu (SBRT, 2007).

Avaliando as características químicas do *Bambusa vulgaris* Schard., Fernández (2010) obtiveram 67,63% de holocelulose, 22,91% de lignina total, 22,03% de lignina insolúvel, 0,88% de lignina solúvel, 9,46% de extrativos totais, 1,16% de cinzas.

A cultura do bambu é economicamente interessante por ser perene e produzir colmos assexuadamente, ano após ano, sem necessidade de plantio.

A forma assexuada de propagação possibilita uma maior difusão e uniformidade genética a partir do enraizamento de estacas provindas de gemas primárias (BERALDO; AZZINI, 2004 citado por COSTA, 2004).

A maioria das espécies de bambu floresce uma única vez (ALBUQUERQUE; SILVA NETO; GUTIÉRREZ-CÉSPEDES, 2010), daí a forma sexuada ser utilizada apenas quando se deseja obter híbridos com boas características agronômicas.

Os tipos de bambus são classificados quanto ao crescimento de seus rizomas (COSTA, 2004). Nos leptomorfos, gênero *Phyllostachys* (Figura 2), as gemas brotam e produzem colmos esparsos, de menor produtividade. Nos paquimorfos, gêneros *Bambusa*, *Dendrocalamus* e *Guadua* (Figura 3), os rizomas se desenvolvem formando touceira densa e concêntrica, de maior produtividade (SILVA, 2006).



Figura 2 Bambu do tipo leptomorfos – alastrantes
Fonte: Apuama (2014)



Figura 3 Bambu do tipo paquimorfo – entouceirantes
Fonte Apuama (2014).

A biomassa do bambu depende da espécie botânica, da qualidade e tipo de solo, do clima e idade (COSTA, 2004). De maneira geral, “os bambus encontrados no centro das touceiras são os mais velhos e os da periferia, os mais jovens” (SBRT, 2007).

Um manejo do bambuzal com organização do plantio, controle de corte, extirpação de mazelas, condicionamento do solo aumentam o rendimento e qualidade dos colmos (ALBUQUERQUE; SILVA NETO; GUTIÉRREZ-CÉSPEDES, 2010; COSTA, 2004; OSTAPIV; GONÇALVES, 2010).

Dados sobre a produtividade média dos bambus são muito variáveis na literatura. Assim sendo, a maioria delinea a espécie em função das características geográficas da região onde o mesmo é encontrado (Tabela 2).

Tabela 2 Produtividade de algumas espécies de bambu

Espécie	Produtividade/ano	País	Fonte
<i>Phyllostachys pubescens</i>	30 t/ha	China	Chun, 2003
<i>Guadua angustifolia</i>	56 t/ha	Colômbia	Villegas, 2004
<i>Bambusa vulgaris</i>	20 t/ha	Brasil	-
<i>Dendrocalamus latiflorus</i>	70 - 80 t/ha	China	Maoyi, 2005

Fonte: adaptado de Ostapiv (2007)

O bambu é um recurso de crescimento abundante que permite sua expansão rapidamente (FEBRIANTO et al., 2010; OHMAE; NAKANO, 2008; PRASAD; PANDEY, 2010; YU et al., 2011). Configura-se como de rápido crescimento e ciclos curtos de produção.

O bambu suporta até 100 cortes sem a necessidade de replantio. Sendo que o primeiro corte ocorre no terceiro ano após plantio, e os demais a cada dois anos. Necessitando replantio apenas após 200 anos. O bambu, em treze anos, permite ser explorado até seis vezes antes de ocorrer a primeira exploração do *pinus*, e segunda do eucalipto (Tabela 3).

Tabela 3 Número de rotações e ciclos de produção para o bambu como matéria-prima para fabricação de celulose e papel

Espécie	Finalidade	Nº de rotações	Anos após o plantio
<i>Bambusa vulgaris</i> Schard.	Celulose e papel	1	3
		2	5
		3	7
		n..	n..
		6	13
		n..	n..
		100	200

No Brasil encontra-se a maior diversidade de espécies de bambu da América Latina localizada na Unidade de Pesquisa e Desenvolvimento – UPD, Tatuí, SP, onde se mantém um Banco Ativo de Germoplasma - BAG com 100 acessos de bambu, em área de dois hectares (ITO et al., 2010).

Ainda, a maior plantação de bambu das Américas, o plantio é da única empresa de beneficiamento e produção de papel de bambu da América Latina; a CEPASA pertencente ao Grupo Industrial João Santos (ALBUQUERQUE; SILVA NETO; GUTIÉRREZ-CÉSPEDES, 2010).

2.4 Emprego do bambu

Em países como China, Nepal, Filipinas e Havaí, o bambu tem sido objeto de pesquisas e desenvolvimento prático (CALEGARI et al., 2007).

Cientistas chineses têm se especializado sobre o bambu, no desenvolvimento de pesquisas na área de reprodução “*in vitro*”, hibridismo, painéis, carvão ativado, álcool e éter, produtos alimentícios e maquinário específico para o seu processamento (SBRT, 2007).

Além disso, o bambu como material de construção civil tem sido o foco de estudos e aplicações nos últimos anos, principalmente pelo impacto ambiental causado pelos materiais convencionais, como o cimento e o aço (BERALDO et al., 2010; PAES et al., 2009; YEH; LIN, 2011).

No Brasil, o uso do bambu ainda é incipiente quando levado em conta seu potencial (CALEGARI et al., 2007). Esse panorama tende a se inverter desde a criação da Rede Brasileira do Bambu - RBB, direcionado ao estudo da arte do bambu (REDE BRASILEIRA DO BAMBU - RBB, 2013).

Por meio de uma reunião acontecida em Brasília, DF, nas dependências do Ministério do Meio Ambiente - MMA e com apoio da Secretaria Nacional de Florestas – SNF pode-se discutir, a nível nacional, a reintrodução do bambu no cenário Brasileiro.

Dessa reunião houve a realização de dois seminários (Brasília, 2006 e Rio Branco, 2010), que discutiram a espécie no contexto integrado nacional e um edital, do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, do Ministério da Ciência e Tecnologia – MCT, que contemplou doze grupos de pesquisas no país.

Com pesquisas na área de construção civil, arquitetura, valorização energética, móveis, compósitos, indústria de fármacos e cosméticos, silvicultura e cadeia produtiva, cultivo “*in vitro*”, “*design*” de produto.

Além dessas, outras conquistas geridas pela RBB encontra-se a Lei nº 12.484, de 8 de setembro de 2011, que dispõe sobre a política de incentivo ao manejo sustentado e ao cultivo do bambu – PNMCB (BRASIL, 2011), e a proposta liderada pelo professor Normando Perazzo Barbosa, que institui normas técnicas para o bambu como material de construção.

Entre outras, são diretrizes da PNMCB no Art.3 (RBB, 2013):

I - a valorização do bambu como produto agro-silvo cultural capaz de suprir necessidades ecológicas, econômicas, sociais e culturais;

II - o desenvolvimento tecnológico do manejo sustentado, cultivo e das aplicações do bambu;

III - o desenvolvimento de polos de manejo sustentado, cultivo e de beneficiamento de bambu, em especial nas regiões de maior ocorrência de estoques naturais do vegetal, em regiões cuja produção agrícola baseia-se em unidades familiares de produção e no entorno de centros geradores de tecnologias aplicáveis ao produto.

2.5 Resíduos vegetais

Com destaque, frise-se que “resíduos são conceituados como tudo o que sobra de um processo de produção ou exploração, de transformação ou de utilização de determinada matéria-prima” (QUIRINO, 2003).

Podem, ainda, ser conceituados como toda substância, material, ou produto destinado por seu proprietário ao abandono, muita das vezes associado à ideia de “problema”, devido ao desconhecimento de mecanismos de aproveitamento do mesmo (BRAND et al., 2002; QUIRINO, 2003).

O volume de resíduos gerados é um problema existente em praticamente todas as regiões do Brasil. Embora as empresas modernas incluam em sua atividade o gerenciamento ambiental e o aproveitamento integrado de seus

subprodutos, a maioria das empresas ainda não está preparada para o descarte apropriado de seus rejeitos.

Em serrarias, por exemplo, atente-se para o fato de que o rendimento da matéria-prima ser relativamente baixo (COSTA et al., 2005). Mendoza et al. (2010), quantificando o volume de resíduos de marcenarias do município de Viçosa - MG, observaram que os resíduos eram compostos por serragem (36,17%), sarrafos (25,53%), maravalhas (23,40%) e cavacos (12,77%).

Sérios problemas ambientais são ocasionados pelo descarte dos resíduos, que vão desde a contaminação de solos e lençóis freáticos, até a disposição em aterros inadequados, gerando o chorume, provocando problemas graves aos córregos, rios, etc. Outro grave problema, é a queima, liberando para atmosfera grandes quantidades de gases, entre eles o CO₂.

2.6 Aproveitamento de resíduos

O descarte de resíduos de biomassa em atividades agrícolas e florestais pode gerar um problema ambiental (AMAYA et al., 2006; CHEN; XING; HANA, 2009; FELFLI et al., 2011; SUHARTINI; HIDAYAT; WIJAYA, 2011).

Os resíduos, depois de gerados, necessitam de um destino adequado, pois, do contrário, além de ocasionar impactos ambientais, representam perdas de matéria-prima e energia, resultantes de todo o processo, exigindo, na contramão das soluções mais viáveis, investimentos significativos no tratamento de controle da poluição por eles gerada (PAULA, 2010).

O conhecimento da quantidade, qualidade e possibilidades de uso dos resíduos pode, não obstante, gerar uma alternativa de uso que viabilize seu aproveitamento, evitando, assim, os problemas anteriormente mostrados.

Como exemplo pode-se citar, ademais, a utilização dos resíduos em coberturas, granjas, indústrias de painéis de madeira reconstituída,

compostagem, geração de energia, na compactação e transformação em briquetes, carvão ativado, etc.

Desse modo, como consequência cabal restaria evidente o eventual retorno econômico aliado, principalmente, a geração de renda, de novos empregos, melhorando a conjuntura até então aqui exposta tanto em aspectos políticos, sociais e ambientais causados.

No Nordeste brasileiro, mas especificamente nos estados do Maranhão, Pernambuco e Paraíba, com plantios da Empresa CEPASA, incluindo os estados de Alagoas e Sergipe (bambu garimpo), possui grandes reservas de bambu (*Bambusa vulgaris*).

As florestas de *Bambusa vulgaris* naqueles Estados têm vantagens econômicas em função da adaptação da espécie ao clima e a sua boa produtividade. Em informações pessoais com técnicos da CEPASA, revela-se que essa espécie tem rendimentos de até 20 toneladas por hectare.ano⁻¹, em plantios no estado do Maranhão.

Produtividades elevadas geram grandes quantidades de resíduos, muitas vezes subutilizados como cobertura morta ou queimados em caldeiras para o fornecimento de energia. Os resíduos têm potencial de utilização, possibilitando um destino de natureza mais tecnológica, entre eles, a produção de carvão ativado.

2.7 Carvão ativado

Carvão ativado trata-se de um material carbonáceo, de elevada área superficial, e que possui grupos funcionais de superfície com afinidade para diversos adsorbatos (AVELAR, 2010; FARIA; ORFAO; PEREIRA, 2005).

Rodríguez-Reinoso (1998 citado por COUTO, 2009), mostrou que a estrutura do carvão ativado pode ser visualizada como faixas de compostos

aromáticos, ligadas entre si, com espaços vazios de dimensões variáveis entre as camadas constituindo os poros (Figura 4).



Figura 4 Representação esquemática da estrutura do carvão ativado
Fonte: Rodríguez-Reinoso (1998 citado por COUTO, 2009)

Utilizados em vários processos de reparação ambiental (recuperação química e bioquímica ambiental e aplicações de purificação), o carvão ativado possui alta capacidade de adsorção (GÜRSES et al., 2006).

O uso de carvão ativado é limitado por causa do seu custo, principalmente em consequência das elevadas temperaturas empregadas na sua obtenção, em geral superiores a 700 °C (PEREIRA et al., 2008).

Ainda, Brum et al. (2008) relatam a sua utilização na adsorção de poluentes em fases gasosas e líquidas, como suporte para catalisadores, na purificação de vários compostos e no tratamento de efluentes.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Obtenção dos resíduos de bambu

Os resíduos de *Bambusa vulgaris* Schard. (Figura 5), resultados da sobra do picador (folhagem e galhos finos) foram provenientes da CEPASA, empresa pertencente ao Grupo Industrial João Santos, com sede no município de Jaboatão dos Guararapes, Pernambuco.

Os resíduos foram peneirados, e utilizados na preparação dos carvões ativados, apenas a fração que passou na peneira de 40 mesh e ficou retida na peneira de 60 mesh.



Figura 5 Resíduos de *Bambusa vulgaris* Schard., provenientes da CEPASA S.A.

3.2 Produção dos carvões ativados

Para o preparo dos carvões ativados – CAs foram aplicadas dois tipos de ativações: 1) ativação física com dióxido de carbono (CO_2) e vapor- d'água

(H₂O); e 2) ativação química, com um sal (cloreto de zinco - ZnCl₂), um ácido (ácido fosfórico - H₃PO₄) e uma base (hidróxido de sódio - NaOH).

Para a ativação física os resíduos de bambu foram pirolisados primeiramente em forno mufla, a 500 °C, por 1 hora, com rampa de aquecimento de 1,67 °C min⁻¹. Após o material carbonizado, este foi ativado com dióxido de carbono, a 850 °C, por 1 hora. Para o vapor-d'água a temperatura final foi de 800 °C, em forno específico adaptado. Os carvões ativados obtido foram denominados de CA CO₂ e CA H₂O.

Na ativação química, os resíduos de bambu foram impregnados com cloreto de zinco e ácido fosfórico na proporção de 1:1, em massa. Para o carvão ativado impregnado com hidróxido de sódio o material utilizado foi o resíduo de bambu pirolisado. Depois foram secos em estufa, a 110 °C, por 24 horas. Esses materiais foram submetidos a aquecimento programado de 10 °C min⁻¹, sob fluxo de atmosfera inerte de N₂ (200 ml min⁻¹), em forno tubular, para a formação do material carbonáceo. Os materiais impregnados foram pirolisados e ativados, a 500 °C, por 3 horas (Figura 6).



Figura 6 Forno tubular utilizado para ativação física e química

O carvão ativado obtido da ativação com cloreto de zinco foi lavado com solução de ácido clorídrico 1:1, v.v, por uma hora, a quente. Em seguida lavado com água destilada até pH neutro. Os carvões ativados obtidos com ácido fosfórico e hidróxido de sódio foram lavados apenas com água destilada até pH neutro. Após a lavagem, os materiais foram secos em estufa a 105 °C, por 24 horas e denominados de CA ZnCl₂, CA H₃PO₄ e CA NaOH (Figuras 7 e 8).

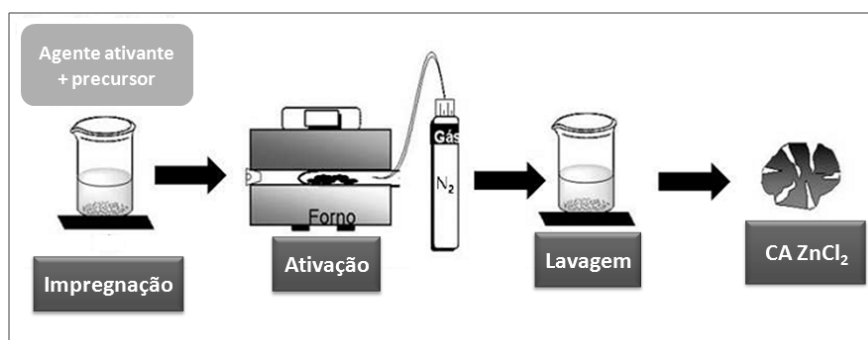


Figura 7 Representação da produção de CA por ativação química
Fonte: adaptado de Couto (2009)

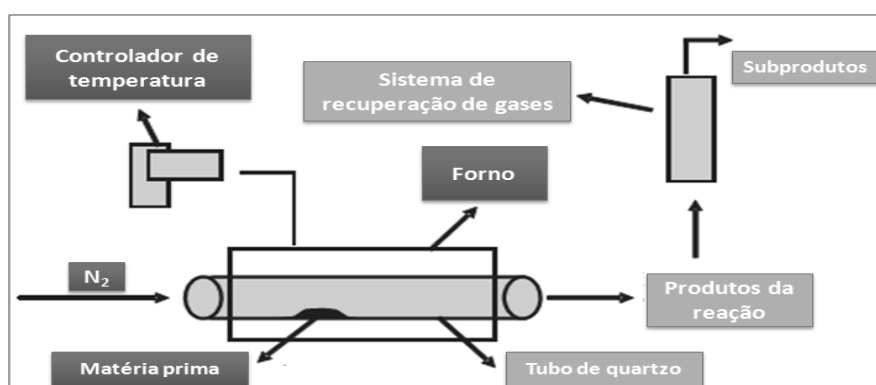


Figura 8 Representação do forno utilizado na preparação do CA
Fonte: adaptado de Brum et al. (2008)

3.2.1 Rendimento gravimétrico em carvão ativado - RCA

O rendimento em carvão ativado produzido foi calculado de acordo com a Equação 1:

$$RCA(\%) = \frac{m_f}{m_0} \times 100 \quad (1)$$

em que, m_f é a massa seca final (g) do carvão ativado e m_0 é a massa seca inicial (g) do material precursor.

3.3 Caracterização dos carvões ativados

3.3.1 Análise elementar - CHNS

Os teores de carbono - C, hidrogênio - H, nitrogênio - N e enxofre - S dos carvões ativados e resíduos de bambu, aproximadamente 3 mg de cada material, foram determinados com o emprego do equipamento de marca Elementar[®]. O teor de oxigênio foi obtido por diferença.

3.3.2 Microscopia eletrônica de varredura - MEV

A morfologia superficial dos materiais foi obtida em aparelho LEO EVO 40XVP, empregando tensão de 25 kV. As amostras foram montadas sobre plataforma de alumínio, com o emprego de fita de carbono dupla com uma fina camada de ouro em evaporador Balzers SCD 050 (Figura 9).

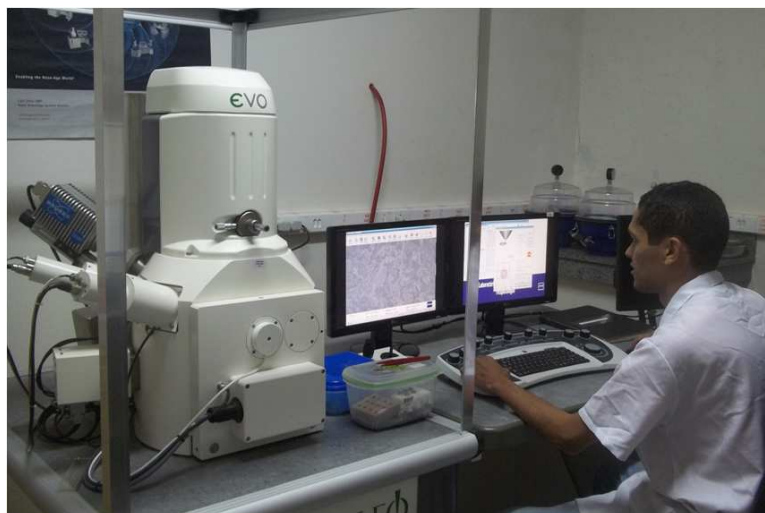


Figura 9 Aparelho utilizado para obtenção das micrografias de MEV

3.3.3 Método titulométrico de Boehm - BOEHM

A determinação dos grupos funcionais da superfície seguiu o método titulométrico de Boehm por meio do aparelho titulador automático 888 Titrando da Metrohm. Em 0,25 g dos materiais (resíduo, carvão vegetal, carvões ativados produzidos e carvão ativado comercial), foram adicionados 10 mL de NaOH, Na_2CO_3 , NaHCO_3 (todos $0,05 \text{ mol L}^{-1}$) e colocados sob agitação por 24 horas. Após agitação filtrados em papel de filtro e retirados alíquotas de 5 mL. Após isso, foram adicionados na alíquota do NaOH e NaHCO_3 10 mL de HCl ($0,05 \text{ mol L}^{-1}$) e na alíquota de Na_2CO_3 adicionados 15 mL de HCl ($0,05 \text{ mol/L}$). Para toda reação, foram deixadas as soluções na presença de N_2 por duas horas. Em seguida foram tituladas com NaOH ($0,05 \text{ mol/L}$) e padronizados o NaOH e HCl (Figura 10).

O número de grupos ácidos foi determinado, usando a consideração de que NaOH neutraliza ácidos carboxílicos, lactonas e fenóis; Na₂CO₃ neutraliza ácidos carboxílicos e lactonas e NaHCO₃ neutraliza somente ácidos carboxílicos.



Figura 10 Titulador utilizado para obtenção da acidez de Boehm

3.3.4 Área superficial por azul de metileno - S_{AM}

A área superficial por azul de metileno (AM) foi calculada de acordo com a Equação 2:

$$S_{AM} = 1000 \times S^{\circ}_{AM} \times q_m \quad (2)$$

em que, S_{AM} é a área superficial estimada por azul de metileno ($m^2 g^{-1}$), S°_{AM} é a área superficial da molécula de azul de metileno ($S^{\circ}_{AM} = 1,93 m^2 g^{-1}$) e q_m é a capacidade máxima de adsorção do azul de metileno ($mg g^{-1}$) obtida nos carvões ativados produzidos a partir dos testes das isotermas de adsorção e parâmetros

de Langmuir (STAVROPOULOS; ZABANIOTOU, 2005 citado por BRUM, 2007).

3.4 Testes com os carvões ativados

Visando à aplicação dos materiais ativados produzidos como adsorvente de contaminantes do meio ambiente, foram realizados testes de adsorção, empregando, como moléculas-modelo, poluentes orgânicos (azul de metileno e fenol) e um metal pesado (Cr^{+6}).

3.4.1 Cinética de adsorção

Foram utilizados 10 mg dos CAs e 10 mL de soluções de azul de metileno, fenol, Cr^{+6} , na concentração de 50 mg L^{-1} . Em intervalos predeterminados de (0,5; 1,0; 2,0; 3,0; 6,0; 12 e 24) horas.

Alíquotas das soluções foram retiradas e suas concentrações determinadas. O aparelho UV-visível Biosystems, modelo SP-2000 UV (Figura 11) foi utilizado para determinação das concentrações de azul de metileno ($\lambda=665$ nm), fenol ($\lambda=270$ nm) e Cr^{+6} ($\lambda=430$ nm). A cinética de adsorção foi realizada para determinar o tempo necessário para se atingir o equilíbrio de adsorção.



Figura 11 Aparelho utilizado para obtenção das concentrações nos testes de cinética e isoterma de adsorção

3.4.2 Testes de adsorção

As isotermas de adsorção foram obtidas ao serem empregadas 10 mg de adsorvente e 10 mL das soluções de diferentes concentrações de adsorbato (azul de metileno, fenol e cromo hexavalente - Cr^{+6}), os quais foram mantidos sob agitação de 100 rpm, durante 24 horas, à temperatura ambiente (25 ± 2)°C (Figura 12). A determinação da concentração de equilíbrio foi realizada no UV-visível (Biosystems, modelo SP-2000 UV) para o azul de metileno ($\lambda=665$ nm), fenol ($\lambda=270$ nm) e Cr^{+6} ($\lambda=430$ nm).

Foram preparadas curvas de calibração com soluções de concentrações de (25; 50; 100; 250; 500; 1000) mg L^{-1} , para o azul de metileno, o fenol e o Cr^{+6} . Sendo as soluções de Cr^{+6} preparadas a partir da dissolução do sal de dicromato de potássio ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$). O adsorbato adsorvido, por grama de adsorvente, foi calculada pela Equação 3:

$$q_{eq} = \frac{(C_0 - C_{eq})xV}{m} \quad (3)$$

em que, C_0 e C_{eq} são as concentrações inicial e no equilíbrio (mg L^{-1}); V é o volume de adsorbato (L) e m é a massa de adsorvente (g).

Os dados obtidos foram analisados com o emprego dos modelos de Langmuir e Freundlich. O modelo de Langmuir é baseado na formação de uma monocamada de adsorbato na superfície do adsorvente, na qual todos os sítios são idênticos e energeticamente equivalentes. O Modelo de Freundlich é baseado na formação de várias camadas na superfície do adsorvente.

Para efeito de comparação, os testes também foram realizados com o carvão ativado comercial disponível no mercado.



Figura 12 Preparação dos materiais para os testes de adsorção

3.4.2.1 Modelo de Langmuir

A Equação 4 descreve o comportamento da isoterma de Langmuir.

$$q_{eq} = \frac{q_m \cdot x K_L \cdot x C_{eq}}{1 + K_L + C_{eq}} \quad (4)$$

em que, q_{eq} é a quantidade adsorvida (mg.g^{-1}) para uma dada concentração do adsorbato, q_m é a capacidade máxima de adsorção (mg.g^{-1}), C_{eq} a concentração do adsorbato após ter atingido o equilíbrio (mg.L^{-1}); K_L é a constante de Langmuir (DEMIRBAS, 2008 citado por COUTO, 2009).

A forma linear desse modelo é expressa como na Equação 5:

$$\frac{C_{eq}}{q_{eq}} = \frac{1}{q_m \cdot x K_L} + \frac{1}{q_m} x C_{eq} \quad (5)$$

3.4.2.2 Modelo de Freundlich

Este modelo tem a forma geral da Equação 6:

$$q_{eq} = K_F \cdot x C_{eq}^{1/n} \quad (6)$$

em que, q_{eq} é a quantidade adsorvida, C_{eq} a concentração de equilíbrio, K_F e $1/n$ são as constantes de Freundlich. A equação é convenientemente usada, em sua forma linear (Equação 7), pela aplicação de logaritmo nos dois termos da Equação 6:

$$\log q_{eq} = \log K_F + \frac{1}{n} \log C_{eq} \quad (7)$$

A constante K_F pode ser definida como um coeficiente de sorção, que é a quantidade de adsorbato por unidade de concentração de equilíbrio. A inclinação $1/n$ é a medida da intensidade de sorção (KHEZAMI; CAPART, 2005 citado por COUTO, 2009).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Produção dos carvões ativados

4.1.1 Rendimento gravimétrico em carvão ativado - RCA

Os rendimentos percentuais obtidos no carvão vegetal e carvões ativados produzidos a partir de resíduos de bambu estão na tabela 4.

Tabela 4 Rendimento percentual dos materiais produzidos

Ativação	Processo	Temperatura de ativação	Tempo de residência	Materiais	RCA (%)
-	-	500 °C	1 hora	C. vegetal	35,83
Física	Vapor	800 °C	1 hora	CA H ₂ O	11,73
	Gás	850 °C	1 hora	CA CO ₂	21,60
Química	Sal	500 °C	3 horas	CA ZnCl ₂	53,98
	Ácido	500 °C	3 horas	CA H ₃ PO ₄	56,26
	Base	500 °C	3 horas	CA NaOH	28,93

Observa-se que os carvões ativados produzidos por ativação química apresentam maior rendimento do que os obtidos por ativação física. Isso está relacionado à menor temperatura utilizada na ativação química, o que reduz a quantidade de compostos liberados por volatilização. Os rendimentos do CA CO₂ (21,60%) e do CA H₃PO₄ (56,26%) foram os maiores dentre os materiais obtidos por ativação física e química, respectivamente.

A ativação química por meio de impregnação ácida (CA H₃PO₄: 56,26%) apresentou maior rendimento quando comparada aos carvões ativados produzidos por meio da impregnação por um sal (CA ZnCl₂: 53,98) e uma base (CA NaOH: 28,93). O gás dióxido de carbono (CA CO₂: 21,60%), apresentou

maior rendimento na ativação física do que o produzido por vapor-d'água (CA H₂O: 11,73).

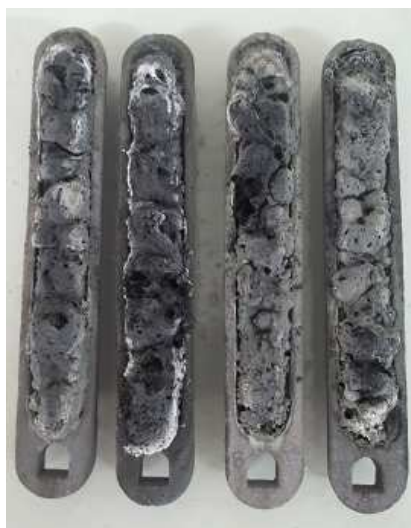


Figura 13 Carvão ativado produzido quimicamente com ZnCl₂.

4.2 Caracterização dos carvões ativados

4.2.1 Análise elementar - CHNS

A composição elementar do resíduo de bambu, carvão vegetal, carvões ativados produzidos e do CA comercial estão na Tabela 5.

Tabela 5 Composição elementar dos materiais

Materiais	C (%)	H (%)	O (%)	N (%)	S (%)	C/H
Resíduo	45,25	6,13	46,87	1,73	0,02	7,38
Carvão vegetal	81,17	2,83	13,62	2,35	0,03	28,68
CA H ₂ O	74,73	2,48	20,82	1,94	0,03	30,13
CA CO ₂	82,13	1,62	13,8	2,34	0,11	50,70
CA ZnCl ₂	83,41	2,75	10,29	3,52	0,03	30,33
CA H ₃ PO ₄	70,68	3,25	24,24	1,83	0,00	21,75
CA NaOH	63,70	2,43	31,75	2,07	0,05	26,21
CA comercial	75,47	3,75	19,00	1,78	0,00	20,13

Quando se compara a composição elementar dos carvões ativados obtidos com o do material precursor (resíduo de bambu), verifica-se que, nos carvões ativados, o teor de carbono aumenta e os teores de oxigênio e hidrogênio diminuem. Padrões semelhantes são encontrados nos trabalhos de Avelar (2010), Brum (2008), Couto (2009) e Pereira (2010) e se deve à liberação de compostos voláteis durante o processo de pirólise e ativação.

O carvão ativado fisicamente CA CO₂ (82,13%) e o carvão ativado quimicamente CA ZnCl₂ (83,41%) apresentaram valores superiores de teor de carbono quando comparados ao CA comercial (75,47%). O CA NaOH (63,70%), dentre os materiais, foi o que apresentou menor teor de carbono.

Observa-se um aumento nos valores da relação C/H, quando se comparam o material precursor e os materiais ativados, o que indica um aumento no grau de aromaticidade após o processo de pirólise e ativação.

4.2.2 Microscopia eletrônica de varredura - MEV

As micrografias do resíduo de bambu, carvão vegetal, carvões ativados produzidos e CA comercial são demonstradas nas figuras 14 a 21.

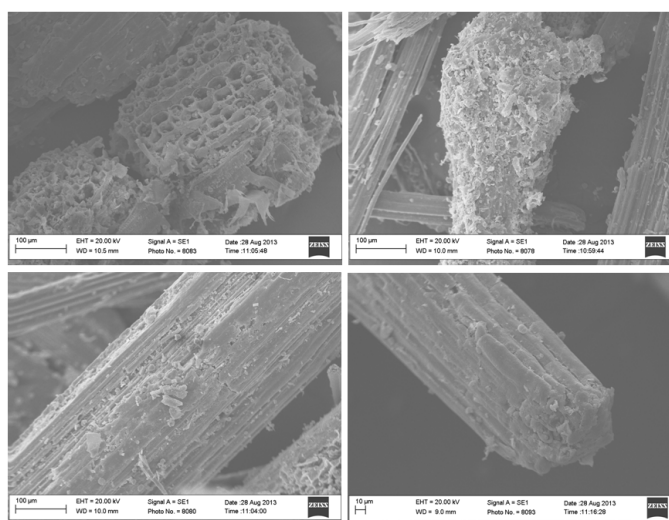


Figura 14 Micrografias do resíduo de bambu

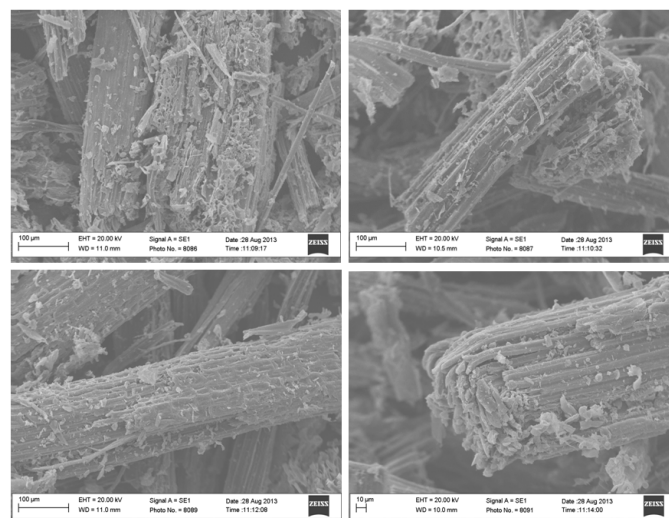
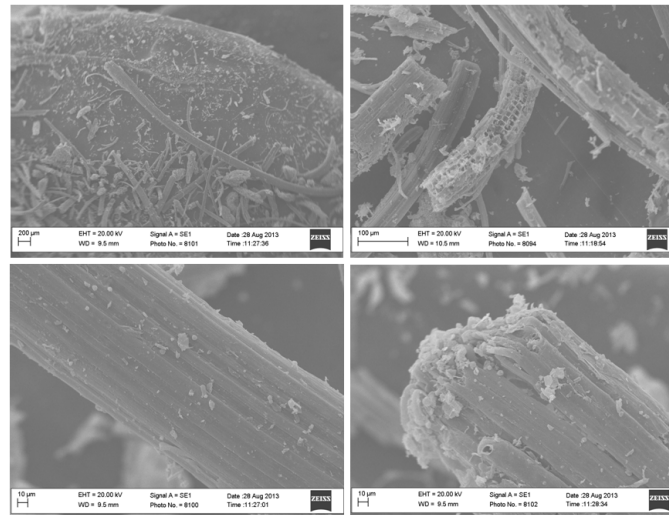
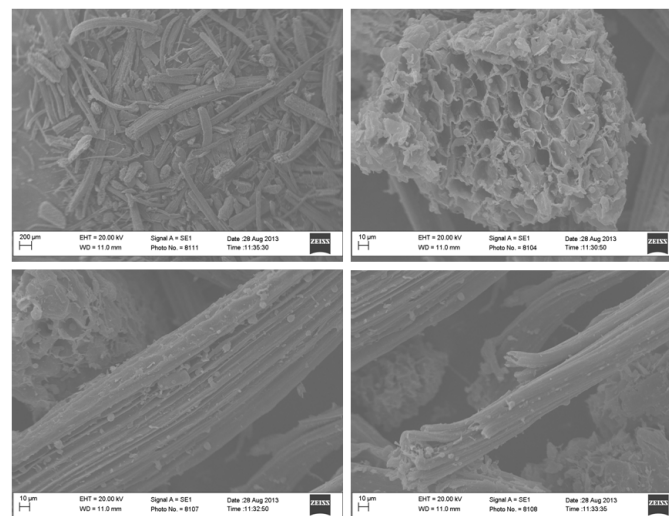
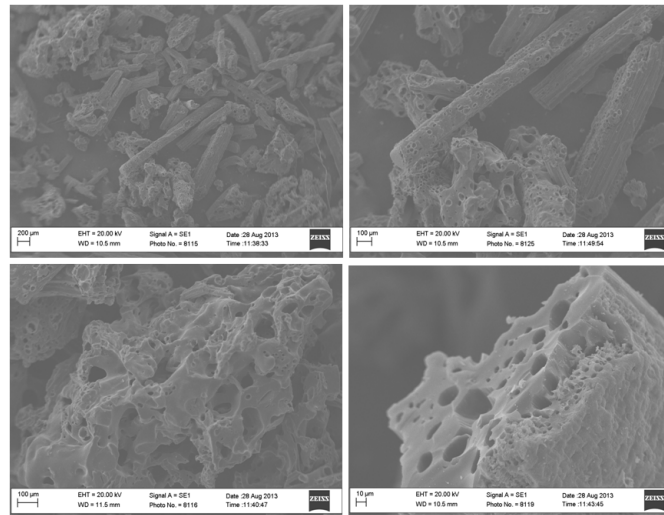
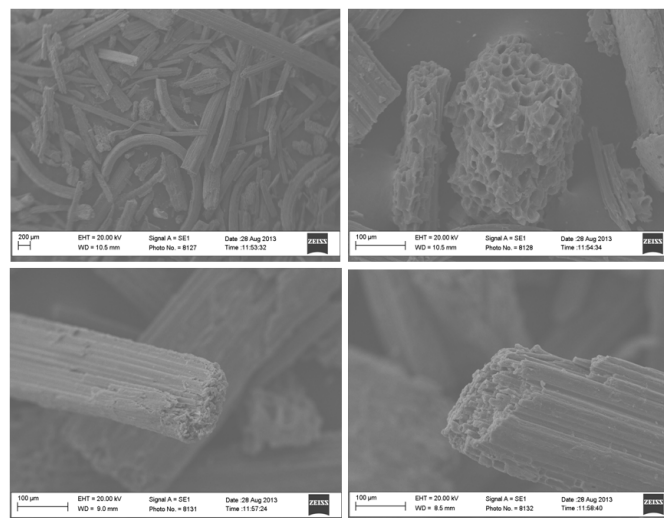


Figura 15 Micrografias do carvão vegetal

Figura 16 Micrografias do CA H₂OFigura 17 Micrografias do CA CO₂

Figura 18 Micrografias do CA $ZnCl_2$ Figura 19 Micrografias do CA H_3PO_4

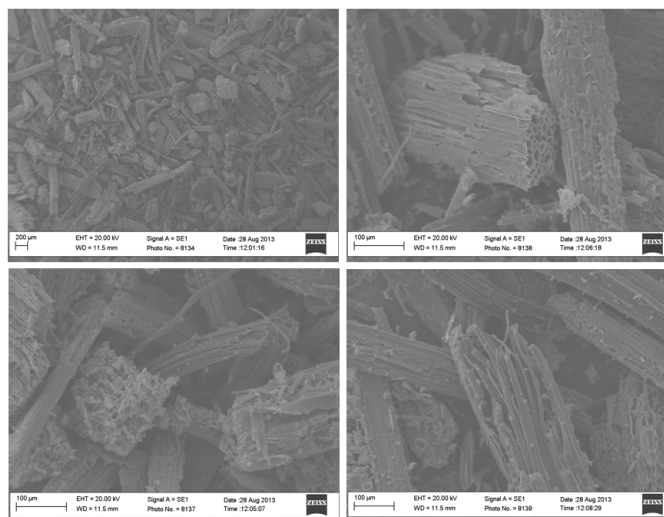


Figura 20 Micrografias do CA NaOH

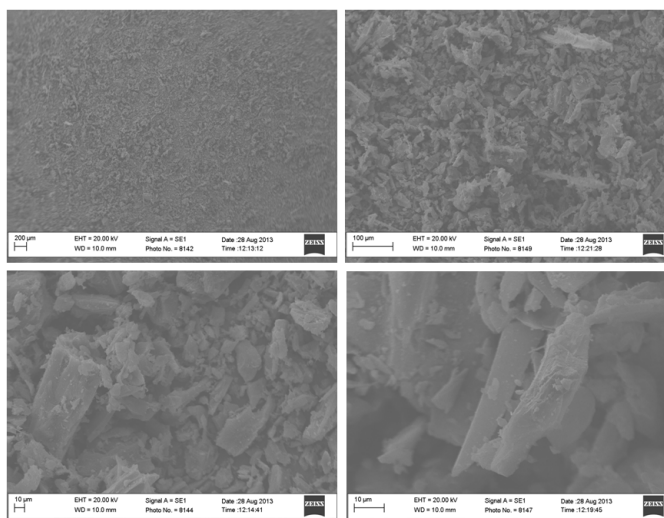


Figura 21 Micrografias do CA comercial

Observa-se que a morfologia do resíduo de bambu foi modificada após o processo de pirólise e ativação. A análise de microscopia eletrônica de varredura mostra a superfície porosa formada pela intensa eliminação de voláteis nas

reações secundárias na estrutura da biomassa. Observa-se o aumento do número de poros em consequência da ativação proposta.

Na ativação física os materiais testados (CA H₂O e CA CO₂) apresentaram morfologias semelhantes, com uma limpeza em suas estruturas com formações do tipo colmeia, as quais consistem em um sistema de cavidades similares a uma rede bem organizada de poros (Figuras 16 e 17).

Na ativação química houve diferentes modificações nas estruturas para cada tipo de carvão ativado produzido. O CA ZnCl₂ mudou totalmente a morfologia do material precursor, criando muitos poros em todas as regiões do material analisado (Figura 13 e 18). Fernandes (2008) explica que a ativação com ZnCl₂ gera mais espaços entre as camadas de carbono resultando em mais porosidade e maior área superficial, que uma das funções do ZnCl₂ é causar a ação eletrolítica chamada dilatação da estrutura molecular de celulose.

O CA H₃PO₄ não alterou a estrutura carbonácea tanto quanto a do CA ZnCl₂, porém foi o que promoveu maior limpeza em suas estruturas de cavidades do tipo colmeia (Figura 19). Para o CA NaOH, a impregnação feita com o hidróxido de sódio, houve uma mudança e destruição na estrutura do material precursor, principalmente das células de parênquimas e provocando também o desfibrilamento do material (Figura 20).

No CA comercial verifica-se que o tamanho das partículas são finos, mesmo em escalas maiores não é possível observar seus poros (Figura 21). Todos os materiais analisados apresentaram morfologias diferentes das encontradas no CA comercial.

4.2.3 Método titulométrico de Boehm - BOEHM

Os grupos funcionais na superfície do resíduo, carvão vegetal, carvões ativados produzidos e carvão comercial estão representados na Tabela 6.

Tabela 6 Grupos funcionais na superfície dos materiais analisados

Materiais (mmolH⁺/gc)	Acidez total	Ácidos carboxílicos	Lactonas	Fenóis
Resíduo	1,389	0,994	0,095	0,300
Carvão vegetal	0,915	0,842	0,073	0,000
CA H ₂ O	0,908	0,801	0,076	0,032
CA CO ₂	1,067	0,926	0,060	0,081
CA ZnCl ₂	1,256	1,055	0,024	0,177
CA H ₃ PO ₄	1,506	1,470	0,00	0,036
CA NaOH	1,313	1,041	0,060	0,212
CA comercial	1,236	0,836	0,110	0,290

Carvões com a mesma área superficial, mas preparados mediante métodos diferentes, podem apresentar características adsorventes totalmente diferentes (PEREIRA, 2010). Logo, as características químicas superficiais dos materiais determinadas pela acidez são alteradas dependendo do processo de ativação e tipo de impregnação aplicada.

Os grupos funcionais dos carvões ativados produzidos por processo físico foram os que apresentaram menor acidez total (CA H₂O: 0,908 mmolH⁺/gc e CA CO₂: 1,067 mmolH⁺/gc). Essa redução na acidez é devido à gaseificação feita pelo dióxido de carbono e oxidação pelo vapor-d'água.

Na ativação química observa-se um aumento na quantidade de grupos carboxílicos, com destaque para o material ativado com ácido fosfórico (CA H₃PO₄: 1,470 mmolH⁺/gc). Para a acidez total na superfície dos carvões ativados produzidos por meio de processo químico também são registrados os maiores valores (CA ZnCl₂: 1,256 mmolH⁺/gc; CA H₃PO₄: 1,506 mmolH⁺/gc e CA NaOH: 1,313 mmolH⁺/gc). A ativação química elevou a quantidade de grupos carboxílicos.

A acidez elevada nos resíduos deve-se à relação da acidez com a maior quantidade de oxigênio presente nos resíduos (FERNANDES, 2008).

Os resultados obtidos mostram que o carvão ativado comercial apresentou uma acidez total (CA comercial: 1,236 mmolH⁺/gc) semelhante aos carvões ativados produzidos por processo químico.

4.2.4 Área superficial por azul de metileno - S_{AM}

Uma importante propriedade do carvão ativado é a sua capacidade de adsorção, a qual é, geralmente, proporcional à sua área superficial (AVELAR, 2010). As áreas superficiais estimadas por azul de metileno obtidas no resíduo, carvão vegetal, carvões ativados produzidos e carvão ativado comercial estão na Tabela 7.

Tabela 7 Área superficial estimada dos materiais produzidos

Ativação	Processo	Materiais	Temp. (°C)	Tempo (horas)	q_m (mg g ⁻¹)	S_{AM} (m ² g ⁻¹)
-	-	Resíduo	-	-	137,54	265,45
-	-	C. vegetal	500	1	191,57	369,73
Física	Vapor	CA H ₂ O	800	1	379,35	732,15
	Gás	CA CO ₂	850	1	298,82	576,72
Química	Sal	CA ZnCl ₂	500	3	683,50	1319,16
	Ácido	CA H ₃ PO ₄	500	3	359,26	693,37
	Base	CA NaOH	500	3	185,28	357,59
-	-	CA comercial	-	-	377,66	728,88
Física	Gás	CA CO ₂ *	500	3	-	528,33
Química	Sal	CA K ₂ CO ₃ *	850	3	-	538,86
Química	Sal	CA ZnCl ₂ **	500	3	-	1190,00

q_m = quantidade máxima de adsorção (mg g⁻¹); S_{AM} é a área superficial estimada por AM (m² g⁻¹); Temp. = temperatura (°C). *Couto (2009); **Avelar (2010).

O CA ZnCl₂, CA H₂O, CA H₃PO₄ e o CA CO₂ foram os materiais que apresentaram as maiores áreas superficiais (1319,16 m² g⁻¹, 732,15 m² g⁻¹, 639,37 m² g⁻¹ e 576,72 m² g⁻¹, respectivamente), sendo o CA ZnCl₂ e CA H₂O

superior ao CA comercial ($728,88 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$). Já o CA NaOH foi o que apresentou a menor área superficial entre os carvões ativados produzidos ($357,59 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$), mostrando resultado similar ao carvão vegetal ($369,73 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$), e próximo ao resíduo ($265,45 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$).

Todos os materiais obtidos apresentaram aumento da área superficial quando submetidos a tratamento térmico e impregnações. Observa-se que tanto o carvão ativado produzido quimicamente com ZnCl_2 como o produzido fisicamente com CO_2 apresentaram elevada área superficial quando comparados ao carvão ativado comercial e aos valores obtidos na literatura. A ativação com o NaOH apesar de brusca, como mostrado na análise de MEV, não aumentou substancialmente a área superficial.

4.3 Testes com os carvões ativados

Testes de adsorção foram realizados com os carvões ativados obtidos como adsorventes de poluentes orgânicos (azul de metileno e fenol) e um metal pesado (cromo hexavalente – Cr^{+6}).

4.3.1 Cinética de adsorção

4.3.1.1 Azul de metileno

O estudo da adsorção do composto azul de metileno, em soluções de concentração 50 mg L^{-1} , do resíduo, carvão vegetal, carvões ativados produzidos e carvão comercial, foi realizado em diferentes tempos de contato, como demonstrado na Figura 22.

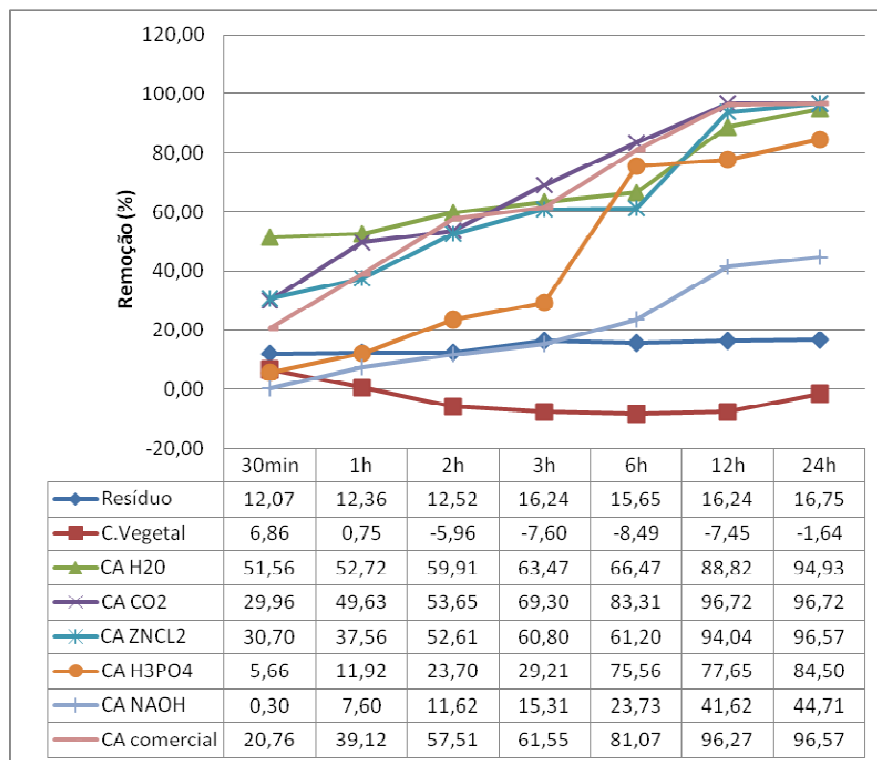


Figura 22 Cinética de adsorção do azul de metileno 50 mg L⁻¹ (10 mg de CA; 10 mL de solução; pH = 6,0; agitação mecânica de 100 rpm; temperatura ambiente)

Observa-se boa remoção inicial pelos materiais ativados fisicamente (CA H₂O e CA CO₂), que no intervalo de tempo de 1 hora já haviam adsorvidos cerca de 50% do composto, ocorrendo o preenchimento dos sítios ativos do adsorvente. O CA ZnCl₂ (61,20%), CA H₃PO₄ (75,56%) e CA comercial (81,07%) apresentaram também rápida remoção quando considerados o tempo de remoção de apenas 6 horas.

A remoção pelo CA NaOH (44,71%; 24 horas) é lenta e pequena, provavelmente devido à menor área superficial desse carvão ativado, sendo a

quantidade removida de adsorbato azul de metileno considerada baixa com o aumento do tempo de contato adsorbato/adsorvente.

A taxa de adsorção torna-se gradativamente menor, até que o sistema entre em equilíbrio. Esse equilíbrio é atingido em diferentes tempos para cada material, mas, com 24 horas de reação, verifica-se que os sistemas já estão saturados, sendo esse tempo o escolhido para os testes de adsorção. O CA CO₂ e CA ZnCl₂ foram os que apresentaram comportamento mais próximo do CA comercial.

4.3.1.2 Fenol

O estudo da adsorção do fenol, em soluções de concentração 50 mg L⁻¹, do resíduo, carvão vegetal, carvões ativados produzidos e carvão comercial, foi realizado em diferentes tempos de contato, como demonstrado na Figura 23.

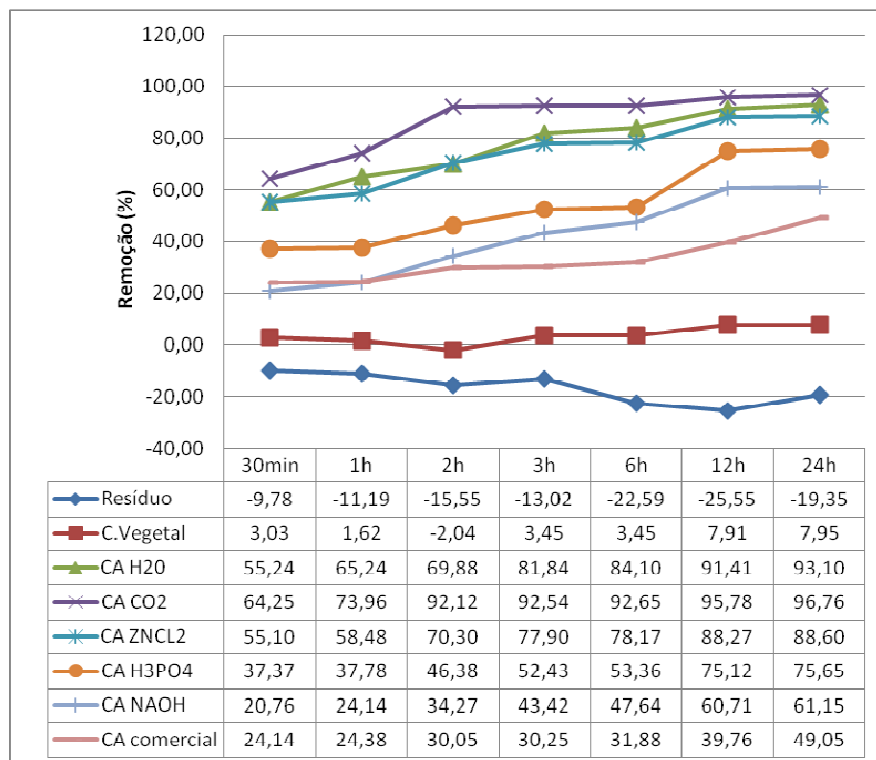


Figura 23 Cinética de adsorção do fenol 50 mg L⁻¹ (10 mg de CA; 10 mL de solução; pH = 6,8; agitação mecânica de 100 rpm; temperatura ambiente)

Verifica-se que, inicialmente, a remoção deste composto é rápida, tornando-se gradativamente menor até que o equilíbrio seja atingido. O CA H₂O, CA CO₂ e CA ZnCl₂ apresentaram capacidades de adsorção, em 30 minutos, superior a 50%. O CA comercial (49,05%) apresentou baixa adsorção do composto em 24 horas. De forma semelhante ao azul de metileno, o tempo de reação de 24 horas foi o utilizado para ser empregado nos testes de adsorção do fenol. Todos os materiais ativados produzidos apresentaram maior adsorção para o fenol que CA comercial.

4.3.1.3 Cromo hexavalente - Cr⁺⁶

O estudo da adsorção do cromo hexavalente, em diferentes tempos de contato, é demonstrado na Figura 24.

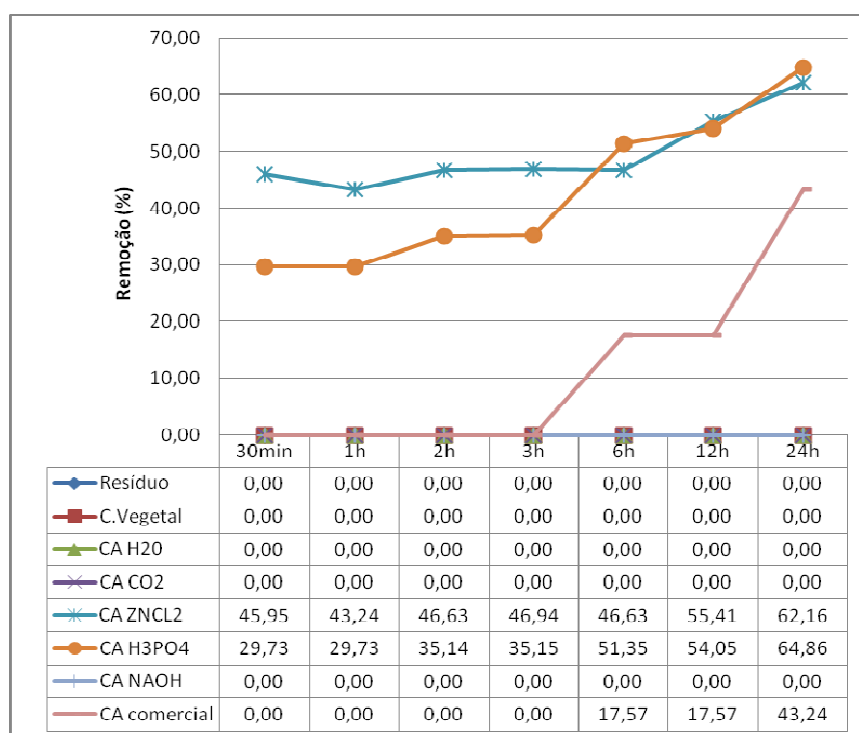


Figura 24 Cinética de adsorção do Cr⁺⁶ 50 mg L⁻¹ (10 mg de CA; 10 mL de solução; pH = 5,0; agitação mecânica de 100 rpm; temperatura ambiente)

Apenas os CA ZnCl₂ (62,16%), CA H₃PO₄ (64,86%) e CA comercial (43,24%) adsorveram o cromo hexavalente - Cr⁺⁶. Para os materiais ativados quimicamente a adsorção começou a acontecer logo aos 30 minutos. Para o CA comercial a adsorção começou após o tempo de 6 horas. A adsorção ocorre de forma gradativa para os materiais analisados, diferente dos demais adsorbatos

analisados, onde se observa grande remoção com pouco tempo de contato adsorbato/adsorvente. O tempo de 24 horas foi o utilizado para a realização dos testes de adsorção dos íons Cr^{+6} .

4.3.2 Isotermas de adsorção e parâmetros de Langmuir e Freundlich

4.3.2.1 Azul de metileno

As isotermas de adsorção correlacionam a quantidade de adsorbato adsorvida por unidade de massa do adsorvente - q_{eq} , com a concentração de adsorbato remanescente no equilíbrio da adsorção - C_{eq} (COUTO, 2009). Os resultados são ajustados segundo o modelo de Langmuir e de Freundlich.

As isotermas de adsorção do composto azul de metileno nos resíduo, carvão vegetal, carvões ativados produzidos e carvão comercial são demonstrados na Figura 25 e os parâmetros de Langmuir e Freundlich estão descritos na Tabela 8.

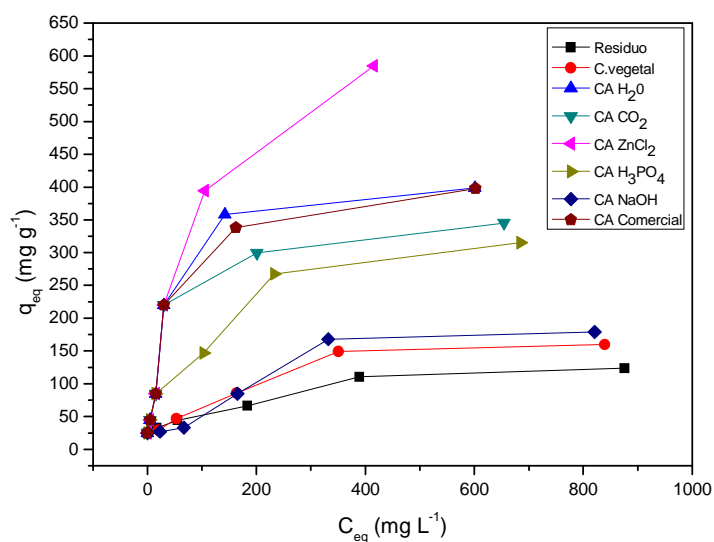


Figura 25 Isotermas de adsorção de azul de metileno (10 mg de CA; 10 mL de solução; pH = 6; agitação mecânica de 100 rpm; temperatura ambiente)

Tabela 8 Parâmetros de Langmuir e Freundlich para a adsorção de azul de metileno

Adsorvente	Parâmetros de Langmuir			Parâmetros de Freundlich		
	q_m	k_L	R^2	K_F	$1/n$	R^2
Resíduo	137,54	0,008	0,884	11,33	0,36	0,964
Carvão vegetal	191,57	0,005	0,941	10,98	0,41	0,935
CA H ₂ O	379,35	0,024	0,923	61,22	0,31	0,874
CA CO ₂	298,82	0,027	0,876	58,95	0,28	0,881
CA ZnCl ₂	683,50	0,013	0,993	42,88	0,44	0,960
CA H ₃ PO ₄	359,26	0,010	0,949	32,29	0,36	0,961
CA NaOH	185,28	0,008	0,890	7,23	0,49	0,896
CA comercial	377,66	0,023	0,933	57,17	0,31	0,901

q_m = quantidade máxima de adsorção (mg g^{-1}); k_L = constante de Langmuir (L mg^{-1}); R^2 = coeficiente de correlação; K_F = constante de Freundlich (mg g^{-1}) (L g^{-1})^{1/n}; $1/n$ = parâmetro de Freundlich.

O CA ZnCl₂, CA H₂O e o CA H₃PO₄ apresentam elevada capacidade de adsorção para o azul de metileno (683,50 mg g⁻¹, 379,35 mg g⁻¹ e 359,26 mg g⁻¹, respectivamente), sendo o CA ZnCl₂ e CA H₂O superior ao CA comercial (377,66 mg g⁻¹). A maior capacidade de adsorção do CA ZnCl₂ em relação aos demais é devido à sua maior área superficial (1319,16 m² g⁻¹).

Comparando-se os valores de R² para os modelos de Langmuir e Freundlich, constata-se que as isotermas para o carvão vegetal, CA H₂O, CA ZnCl₂ e CA comercial são melhor ajustadas pelo modelo de Langmuir, enquanto o resíduo, CA CO₂, CA H₃PO₄ e CA NaOH se ajustaram melhor ao modelo de Freundlich.

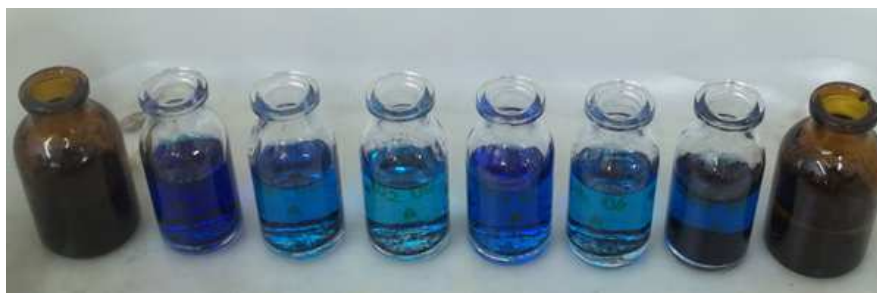


Figura 26 Materiais produzidos em processo de adsorção do azul de metileno

4.3.2.2 Fenol

As isotermas de adsorção de fenol nos resíduos, carvão vegetal, carvões ativados produzidos e carvão comercial são demonstrados na Figura 27 e os parâmetros de Langmuir e Freundlich estão descritos na Tabela 9.

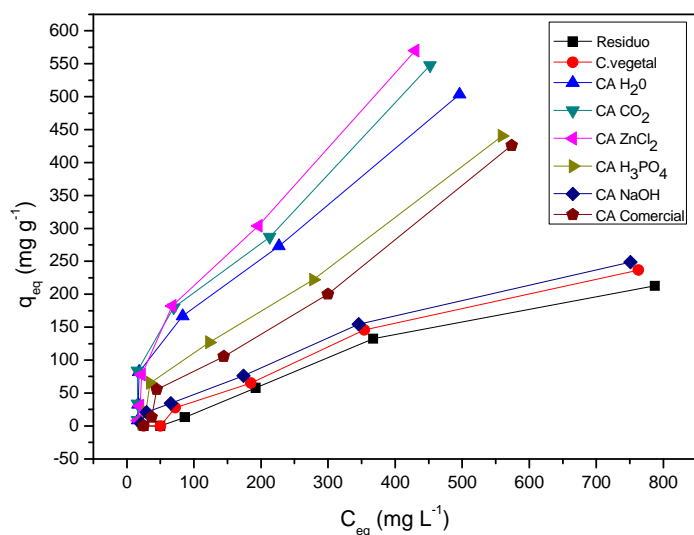


Figura 27 Isotermas de adsorção de fenol (10 mg de CA; 10 mL de solução; pH = 6,8; agitação mecânica de 100 rpm; temperatura ambiente)

Tabela 9 Parâmetros de Langmuir e Freundlich para a adsorção de fenol

Adsorvente	Parâmetros de Langmuir			Parâmetros de Freundlich		
	q_m	k_L	R^2	K_F	$1/n$	R^2
Resíduo	199,97	0,004	0,831	0,43	0,93	0,973
Carvão vegetal	224,32	0,004	0,845	0,64	0,89	0,978
CA H ₂ O	509,83	0,008	0,916	6,40	0,70	0,983
CA CO ₂	558,29	0,008	0,913	6,84	0,71	0,978
CA ZnCl ₂	584,64	0,008	0,915	5,95	0,75	0,984
CA H ₃ PO ₄	428,34	0,006	0,865	1,66	0,88	0,989
CA NaOH	239,65	0,006	0,883	1,49	0,78	0,992
CA comercial	404,08	0,005	0,823	0,50	1,06	0,992

q_m = quantidade máxima de adsorção (mg g^{-1}); k_L = constante de Langmuir (L mg^{-1}); R^2 = coeficiente de correlação; K_F = constante de Freundlich (mg g^{-1}) (L g^{-1})^{1/n}; $1/n$ = parâmetro de Freundlich.

Os CA ZnCl₂, CA CO₂, CA H₂O e o CA H₃PO₄ apresentam elevada capacidade de adsorção para o fenol (584,64 mg g⁻¹, 558,29 mg g⁻¹, 509,83 mg g⁻¹ e 428,34 mg g⁻¹, respectivamente), sendo os mesmos ainda superiores ao CA comercial (404,08 mg g⁻¹). A maior capacidade de adsorção do CA ZnCl₂ em relação aos demais está associada à sua maior área superficial. O CA NaOH foi o que adsorveu menor quantidade (239,65 mg g⁻¹), provavelmente também devido à sua menor área superficial.

Comparando-se os valores de R² para os modelos de Langmuir e Freundlich, verifica-se que todas isotermas de adsorção apresentam maior coeficiente de determinação com o modelo de Freundlich, o que indica melhor adsorção em multicamadas.

4.3.2.3 Cromo hexavalente - Cr⁺⁶

As isotermas de adsorção do composto cromo hexavalente - Cr⁺⁶ no resíduo, carvão vegetal, carvões ativados produzidos e carvão comercial são demonstrados na Figura 28 e os parâmetros de Langmuir e Freundlich estão descritos na Tabela 10.

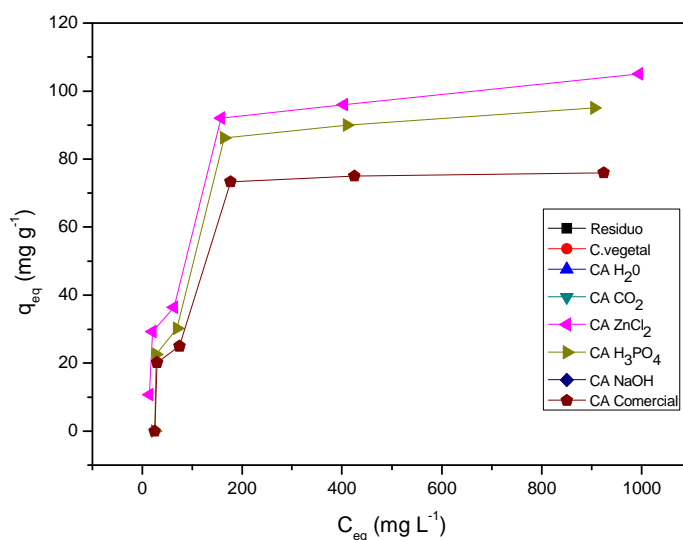


Figura 28 Isotermas de adsorção de Cr^{+6} (10 mg de CA; 10 mL de solução; pH = 5,0; agitação mecânica de 100 rpm; temperatura ambiente)

Tabela 10 Parâmetros de Langmuir e Freundlich para a adsorção de Cr^{+6}

Adsorvente	Parâmetros de Langmuir			Parâmetros de Freundlich		
	q_m	k_L	R^2	K_F	$1/n$	R^2
CA ZnCl_2	117,35	0,012	0,947	11,97	0,33	0,851
CA H_3PO_4	118,41	0,006	0,891	7,08	0,40	0,800
CA comercial	96,29	0,006	0,877	6,10	0,39	0,778

q_m = quantidade máxima de adsorção (mg g^{-1}); K_L = constante de Langmuir (L mg^{-1}); R^2 = coeficiente de correlação; K_F = constante de Freundlich (mg g^{-1}) (L g^{-1})^{1/n}; $1/n$ = parâmetro de Freundlich.

A adsorção é um processo complexo que depende das características físicas e químicas dos adsorbatos e adsorventes (PEREIRA, 2010). Apenas os CA ZnCl_2 , CA H_3PO_4 (materiais ativados quimicamente) e CA comercial apresentaram capacidade de adsorção para o cromo hexavalente - Cr^{+6} (117,35 mg g^{-1} , 118,41 mg g^{-1} e 96,29 mg g^{-1} , respectivamente). A maior capacidade

máxima de adsorção (q_m) do Cr^{+6} pelo CA ZnCl_2 se mostrou inferior aos valores obtidos nos testes para o azul de metileno e fenol.

Comparando-se os valores de R^2 para os modelos de Langmuir e Freundlich, verifica-se que todas isotermas de adsorção apresentam maior coeficiente de determinação com o modelo de Langmuir, em monocamadas.

5 CONCLUSÃO

Dos resultados pode-se concluir:

- ✓ os carvões ativados quimicamente apresentaram maior rendimento que os ativados fisicamente.
- ✓ o teor de carbono aumentou com a ativação e o teor de oxigênio diminuiu. Tanto o carvão ativado quimicamente com CO_2 como o quimicamente com ZnCl_2 apresentaram alto teor de carbono, superior ao encontrado no CA comercial.
- ✓ As micrografias mostraram que a morfologia do material precursor foi modificada após processo de pirólise e ativação, aumentando o número de poros e área superficial em função da ativação proposta.
- ✓ As características químicas superficiais dos materiais determinadas pela acidez podem ser alteradas dependendo do processo de ativação e tipo de impregnação aplicada. A ativação química elevou a quantidade de grupos carboxílicos, aumentando a acidez do material.
- ✓ Todos os materiais obtidos apresentaram aumento da área superficial quando submetidos ao tratamento térmico e impregnações. O carvão ativado quimicamente com ZnCl_2 e o ativado fisicamente com CO_2 apresentaram elevada área superficial quando comparados ao CA comercial e literatura.
- ✓ Os materiais apresentaram boa remoção inicial dos adsorbatos. A taxa de adsorção torna-se gradativamente menor, até que o sistema entre em equilíbrio. O tempo de 24 horas foi o utilizado nos testes de adsorção, onde se verificou a saturação na maioria dos materiais.
- ✓ Os carvões ativados preparados a partir de resíduo de bambu apresentaram elevada capacidade de adsorção para os compostos testados, na maioria das

vezes, superando o CA comercial. O CA $ZnCl_2$ e CA H_2O foram os mais eficientes na adsorção do azul de metileno. O CA $ZnCl_2$, CA CO_2 , CA H_2O e o CA H_3PO_4 foram os melhores adsorventes para o fenol, enquanto apenas o CA $ZnCl_2$, CA H_3PO_4 e CA comercial adsorveram o cromo hexavalente - Cr^{+6} .

6 RECOMENDAÇÃO

- ✓ Os resíduos de bambu, provenientes de uma indústria de papel e celulose, se apresentaram como bons precursores na preparação de vários tipos de carvões ativados quimicamente e fisicamente podendo ser utilizados no tratamento de contaminantes do meio ambiente.
- ✓ Os carvões ativados obtidos apresentaram resultados, na maioria das vezes, de produção, caracterização e aplicação superiores aos resultados encontrados para o CA comercial e aos obtidos na literatura.
- ✓ Estudos mais aprofundados dos carvões ativados fisicamente como adsorventes de contaminantes do meio ambiente são necessários devidos os mesmos terem apresentados resultados semelhantes aos carvões ativados quimicamente e ao carvão ativado comercial.
- ✓ Estudo das diferentes proporções resíduo:agente ativante químico devem ser elaborados, a fim de viabilizar economicamente a produção dos materiais ativados quimicamente.
- ✓ Estudos da viabilidade técnica-econômica dos carvões ativados obtidos a partir de resíduos de bambu necessitam serem elaborados visando a sua implementação e eficiência de utilização pela indústria.

REFERÊNCIAS

AHMAD, M.; KAMKE, F.A. Analysis of Calcutta bamboo for structural composite materials: physical and mechanical properties. **Wood Science and Technology**, New York, v. 39, p. 448–459, 2005.

ALBUQUERQUE, E. R.; SILVA NETO, E. B.; GUTIÉRREZ-CÉSPEDES, G. M. Viabilidade do emprego do resíduo industrial lama de cal como uma alternativa para a produção do bambu da espécie *Bambusa vulgaris* Schrad. In: SEMINÁRIO NACIONAL DO BAMBU: CONSOLIDAÇÃO DA REDE BRASILEIRA DO BAMBU, 2., 2010, Rio Branco. **Anais...** Rio Branco: [s. n.], 2010. 314 p.

AMAYA, A. et al. Activated carbon briquettes from biomass materials. **Bioresource Technology**, Essex, v. 98, n. 8, p. 1635–1641, 2006.

APUAMA. Disponível em: <<http://www.apuama.org/bambu/especimes/>>. Acesso em: 2 fev. 2014.

AVELAR, F. F. et al. The use of piassava fibers (*Attalea funifera*) in the preparation of activated carbon. **Bioresource Technology**, Essex, v. 101, n. 12, p. 4639–4645, 2010.

BERALDO, A. L. et al. Estudo preliminar do uso de bambu como elemento estrutural em pavimentação com concreto. **Cerne**, Lavras, v. 16, p. 125-132, jul. 2010.

BORGES, F. M. et al. Desenvolvimento e criação de uma unidade produtiva de carvão ativado. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 23., 2003, Ouro Preto. **Anais...** Ouro Preto: UFOP, 2003. 1 CD ROM.

BRAND, M. A. et al. Caracterização do rendimento e quantificação dos resíduos gerados em serraria através do balanço de materiais. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 32, p. 247-259, 2002.

BRASIL. Câmara dos Deputados. **Lei nº 12.484, de 8 de Setembro de 2011.** Dispõe sobre a política nacional de incentivo ao manejo sustentado e ao cultivo do bambu e dá outras providências. Disponível em: <<http://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/2011/lei-12484-8-setembro-2011-611401-norma-pl.html>>. Acesso em: 23 jan. 2013.

BRUM, S. S. **Caracterização e modificação química de resíduos sólidos do beneficiamento do café para produção de novos materiais.** 2007. 138 p. Dissertação (Mestrado em Agroquímica) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2007.

BRUM, S. S. et al. Preparação e caracterização de carvão ativado produzido a partir de resíduos do beneficiamento do café. **Química Nova**, São Paulo, v. 31, n. 5, p. 1048-1052, 2008.

CALEGARI, L. et al. Desempenho físico-mecânico de painéis fabricados com Bambu (*Bambusa vulgaris* Schr.) em combinação com madeira. **Cerne**, Lavras, v. 13, n. 1, p. 57-63, jan./mar. 2007.

CAPRA, F. **A teia da vida:** uma nova compreensão científica dos sistemas vivos. São Paulo: Cultrix, 1996.

CHEN, L. J.; XING, L.; HANA, L. Renewable energy from agro-residues in China: solid biofuels and biomass briquetting technology. **Renewable e Sustainable Energy Reviews**, Oxford, v. 13, n. 9, p. 2689-2695, Dec. 2009.

CHUNG, M. J.; CHENG, S. S.; CHANG, S. T. Environmentally benign methods for producing green culms of ma bamboo (*Dendrocalamus latiflorus*) and moso bamboo (*Phyllostachys pubescens*). **Journal of Wood Science**, Cham, v. 55, p. 197–202, 2009.

COLLA, W. A.; BERALDO, A. L.; BRITO, J. O. Effects of thermal treatment on the physicochemical characteristics of giant Bamboo. **Cerne**, Lavras, v. 17, n. 3, p. 361-367, jul./set. 2011.

COSTA, L. P. E. et al. Qualidade das chapas de partículas aglomeradas fabricadas com resíduos do processamento mecânico da madeira de *Pinus elliottii* Engelm. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 15, n. 3, p. 311-322, 2005.

COSTA, T. M. S. **Estudo da viabilidade técnica do emprego do bambu da espécie *Bambusa vulgaris* Schard., como carvão vegetal**. 2004. 62 p. Dissertação (Mestrado em Ciências na área de Tecnologia Nuclear – Materiais) - Instituto de Pesquisa Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

COUTO, G. M. **Utilização da serragem de *Eucalyptus* sp. na preparação de carvões ativados**. 2009. 89 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

FARIA, P. C. C.; ORFAO, J. J. M.; PEREIRA, M. F. R. Mineralisation of coloured aqueous solutions by ozonation in the presence of activated carbon. **Water Research**, Oxford, v. 39, n. 8, p.1461–1470, 2005.

FEBRIANTO, F. et al. Properties of oriented strand board made from Betung bamboo (*Dendrocalamus asper* (Schultes.f) Backer ex Heyne). **Wood Science and Technology**, New York, v. 46, p. 53–62, 2010.

FELFLI, F. F. et al. Biomass briquetting and its perspectives in Brazil. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, v. 35, n. 1, p. 236-242, 2011.

FERNANDES, F. L. **Carvão de endocarpo de coco da baía ativado quimicamente com $ZnCl_2$ e fisicamente com vapor d'água: produção, caracterização, modificações químicas e aplicação na adsorção de íon cloreto**. 2008. 92 p. Tese (Doutorado em Química) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2008.

FERNÁNDEZ, M. A. V. **Avaliação dos processos de polpação soda-antraquinona e bissulfito-base magnésio para bambu**. 2010. 90 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2010.

GÜRSES, A. et al. Production of granular activated carbon from waste *Rosa canina* sp seeds and its adsorption characteristics for dye. **Journal of Hazardous Materials**, Amsterdam, v. 131, p. 254–259, 2006.

HIDALGO LOPEZ, O. **Bamboo-The gift of the gods**. Bogotá: O. H. Lopez, 2003. 553 p.

ITO, M. A. et al. Banco Ativo de Germoplasma (BAG) de bambu na UPD de Tatuí do PRDTA do sudoeste paulista/SAA. In: SEMINÁRIO NACIONAL DO BAMBU: CONSOLIDAÇÃO DA REDE BRASILEIRA DO BAMBU, 2., 2010, Rio Branco. **Anais...** Rio Branco: [s. n.], 2010. 314 p.

KLEINLEIN, W. A. et al. Caracterização energética de bambu. In: SEMINÁRIO NACIONAL DO BAMBU: CONSOLIDAÇÃO DA REDE BRASILEIRA DO BAMBU, 2., 2010, Rio Branco. **Anais...** Rio Branco: [s. n.], 2010. 314 p.

MALVEZZI, R. **Semi-árido: uma visão holística**. Brasília: Confea, 2007. 106 p.

MARINHO, N. P. et al. Análise química do bambu-gigante (*Dendrocalamus giganteus* Wall. ex Munro) em diferentes idades. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 22, n. 2, p. 413-418, abr./jun. 2012.

MENDOZA, Z. M. S. H. et al. Análise dos resíduos madeireiros gerados nas marcenarias do município de Viçosa, MG. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 34, n. 4, p. 755-760, 2010.

MORIN, E. **A cabeça bem-feita: repensar a reforma, reformar o pensamento**. 9. ed. Rio de Janeiro: B. Brasil, 2003.

MORIN, E. **O Método I - A natureza da natureza**. 2. ed. Lisboa: Europa-América, 1977.

OHMAE, Y.; NAKANO, T. Water adsorption properties of bamboo in the longitudinal direction. **Wood Science and Technology**, New York, v. 43, p. 415–422, 2008.

OSTAPIV, F. **Análise e melhoria do processo produtivo de tábuas de bambu (*Phyllostachys pubescens*) com foco em pisos**. 2007. 112 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

OSTAPIV, F.; GONÇALVES, M. T. T. Avaliação da estrutura de um bambuzal de Mossô (*Phyllostachys pubescens*) no município de Fazenda Rio Grande – Paraná. In: SEMINÁRIO NACIONAL DO BAMBU: CONSOLIDAÇÃO DA REDE BRASILEIRA DO BAMBU, 2., Rio Branco. **Anais...** Rio Branco: [s. n.], 2010. 314 p.

PAES, J. B. et al. Caracterização físico-mecânica do laminado colado de bambu (*Dendrocalamus giganteus*). **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 19, n. 1, p. 41-51, jan./mar. 2009.

PAULA, L. E. R. **Produção e avaliação de briquetes de resíduos lignocelulósicos**. 2010. 72 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2010.

PEREIRA, E. et al. Preparação de carvão ativado em baixas temperaturas de carbonização a partir de rejeitos de café: utilização de FeCl₃ como agente ativante. **Química Nova**, São Paulo, v. 31, n. 6, p. 1296-1300, 2008.

PEREIRA, E. I. **Produção de carvão ativado a partir de diferentes precursores utilizando FeCl₃ como agente ativante**. 2010. 72 p. Dissertação (Mestrado em Agroquímica) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2010.

PEREIRA, M. A. R.; BERALDO, A. L. **Bambu de corpo e alma**. Bauru: Canal 6, 2008.

PRASAD, B. E.; PANDEY, K. K. Microwave drying of bamboo. **European Journal of Wood and Wood Products**, Berlin, v. 70, p. 353–355, 2010.

QUIRINO, W. F. **Utilização energética de resíduos vegetais**. Brasília: LPF/IBAMA, 2003. 14 p.

REDE BRASILEIRA DO BAMBU. Disponível em: <<http://www.redebrasileira.dobambu.com.br>>. Acesso em: 12 set. 2013.

SANTANA, G. M. **Abordagem sistêmica e potencial em taninos de espécies de ocorrência no semiárido brasileiro**. 2011. 36 p. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Campina Grande, Patos, 2011.

SERVIÇO BRASILEIRO DE RESPOSTAS TÉCNICAS. **Dossiê técnico: bambu**. Curitiba: Instituto de tecnologia do Paraná, 2007.

SILVA, R. M. C. O bambu no Brasil e no mundo. In: ENCONTRO DA ESCOLA DE AGRONOMIA E ENGENHARIA DE ALIMENTOS DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS, 2006, 1., 2006, Goiânia. **Anais...** Goiânia: Universidade Federal de Goiás, 2006. 45 p.

SUHARTINI, S.; HIDAYAT, N.; WIJAYA, S. Physical properties characterization of fuel briquette made from spent bleaching earth. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, v. 35, n. 10, p. 4209 - 4214, 2011.

YEH, M. C.; LIN, Y. L. Finger joint performance of structural laminated bamboo member. **Journal of Wood Science**, Cham, v. 58, p. 120–127, 2011.

YU, Y. et al. Surface functionalization of bamboo with nanostructured ZnO. **Wood Science and Technology**, New York, v. 46, p. 781–790, 2011.