



**UNIVERSIDADE CATÓLICA DE PERNAMBUCO**  
**PRÓ-REITORIA ACADÊMICA**  
**COORDENAÇÃO GERAL DE PÓS-GRADUAÇÃO**  
**MESTRADO EM DESENVOLVIMENTO DE PROCESSOS AMBIENTAIS**

**Valmir Rocha Cavalcante**

**PRODUÇÃO DE CARVÃO ATIVADO A PARTIR DE  
RESÍDUOS DE COCO, BANANA E LARANJA**

**Recife, 25 de Fevereiro de 2015**

**Valmir Rocha Cavalcante**

# **PRODUÇÃO DE CARVÃO ATIVADO A PARTIR DE RESÍDUOS DE COCO, BANANA E LARANJA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento de Processos Ambientais da Universidade Católica de Pernambuco como pré-requisito para obtenção do título de **Mestre em Desenvolvimento de Processos Ambientais**.

**Área de Concentração:** Desenvolvimento de Processos Ambientais.

**Linha de Pesquisa:** Biotecnologia e Meio Ambiente.

**Orientadora:** Profa Dra Arminda Saconi Messias

**Recife, 25 de Fevereiro de 2015**

C376p Cavalcante, Valmir Rocha  
Produção de carvão ativado a partir de resíduos de coco,  
banana e laranja / Valmir Rocha Cavalcante ; orientador  
Arminda Saconi Messias, 2015.  
xii, 63 f. : il.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Católica de Pernambuco.  
Pró-reitoria Acadêmica. Coordenação Geral de Pós-graduação.  
Mestrado em Desenvolvimento de Processos Ambientais, 2015.

1. Adsorção. 2. Porosidade. 3. Resíduos. 4. Carbono ativado.  
5. Carvão vegetal. I. Título.

CDU 574.6

# **PRODUÇÃO DE CARVÃO ATIVADO A PARTIR DE RESÍDUOS DE COCO, BANANA E LARANJA**

VALMIR ROCHA CAVALCANTE

## **Examinadores:**

---

Profa. Dra. Arminda Saconi Messias (Orientadora)  
Universidade Católica de Pernambuco, Recife-PE

---

Prof. Dr. Emanuel Sampaio Silva (Membro externo)  
Universidade Salgado de Oliveira, Recife-PE

---

Profa. Dra. Kaoru Okada (Membro interno)  
Universidade Católica de Pernambuco, Recife-PE

## AGRADECIMENTOS

Ao bom Deus, pelo amparo e força nas horas mais difíceis.

À Profa Dra Arminda Saconi Messias, não apenas pelo trabalho de orientação, mas principalmente, por sua competência, exemplo e convívio que a pesquisa nos trouxe e que muito me engrandeceram.

Ao Prof. MSc. Sérgio Carvalho Paiva, que de forma imparcial sempre se mostrou solícito às nossas necessidades, quando das práticas no Laboratório de Química Analítica, assim como toda equipe do laboratório.

Aos professores do Mestrado em Desenvolvimento de Processos Ambientais, que de forma muito singular repassaram o conhecimento e as experiências. Repassando-a para toda turma, obrigado pelas contribuições valiosas. E também a todos que fazem o Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento de Processos Ambientais.

Aos familiares, Mãe e Pai (*in memoriam*), que apesar de não terem concluído o curso primário, sempre valorizaram a Escola, incentivando todos os filhos a concluírem os estudos. A todos meus irmãos. Aos meus filhos. Em especial, à minha esposa, Edilene Miranda Vilela Rocha, pela garra, determinação, alegria, apoio e muito trabalho, tendo se mantido fiel e companheira todas as horas.

À Universidade Católica de Pernambuco, por ser uma instituição séria, que me favoreceu na concessão de bolsa funcionário, proporcionando crescimento e amadurecimento na vida. Em especial, aos colegas do Centro de Ciências Sociais (CCS), que de forma muito particular incentivaram, participaram e apoiaram.

A todos aqueles que de uma forma direta ou indireta contribuíram para realização deste trabalho.

E, finalmente, aos colegas de turma pelos novos vínculos afetivos e profissionais.

## SUMÁRIO

<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	v
<b>SUMÁRIO</b> .....	vi
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	viii
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	ix
<b>LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS</b> .....	x
<b>RESUMO</b> .....	xi
<b>ABSTRACT</b> .....	xii
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>1.1 Introdução</b> .....	13
<b>1.2 Objetivos</b> .....	15
1.2.1 Objetivo geral.....	15
1.2.2 Objetivos específicos.....	15
<b>1.3 Revisão de Literatura</b> .....	16
1.3.1 Resíduos agroindustriais.....	16
1.3.2 Coco ( <i>Cocus nucifera</i> ) .....	17
1.3.3 Banana ( <i>Musa sp.</i> ) .....	19
1.3.4 Laranja ( <i>Citrus sinensis</i> ) .....	22
1.3.5 Carvão .....	23
1.3.6 Processo de ativação .....	24
1.3.7 Carvão ativado .....	26
1.3.8 Adsorção .....	28
1.3.9 Material Precursor .....	31
<b>1.4 Referências</b> .....	33
<b>CAPÍTULO II</b>	
Resumo .....	47
Abstract .....	48
Introdução.....	48
Material e Métodos.....	50
Resultados e Discussão.....	52
Conclusões.....	54
Agradecimentos.....	54
Referências.....	55

**CAPÍTULO III**

**CONSIDERAÇÕES FINAIS.....62**

**ANEXOS.....63**

## LISTA DE FIGURAS

### CAPÍTULO I

Figura 1- Ilustração do coqueiro .....	18
Figura 2- Corte esquemático do carvão ativo .....	26
Figura 3 - Representação do processo de adsorção .....	29

### CAPÍTULO II

<b>Figura 1.</b> Valores de pH.....	59
<b>Figura 2.</b> Valores de turbidez.....	59
<b>Figura 3.</b> Valores de condutividade elétrica (CE).....	60

## LISTA DE TABELAS

### CAPÍTULO I

Tabela 1- Produção brasileira de coco, banana e laranja .....	21
Tabela 2 - Classificação de materiais porosos.....	27
Tabela 3 - Características da adsorção física e química.....	30

## LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

CA - Carvão Ativado

CAG - Carvão Ativado Granular

CAP - Carvão Ativado em Pó

CONAMA - Conselho Nacional de Meio Ambiente

CO<sub>2</sub> - Dióxido de Carbono

H - Hidrogênio

H<sub>2</sub>O - Água

H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> - Ácido Sulfúrico

H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> - Ácido Fosfórico

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IBRAF - Instituto Brasileiro de Frutas

IUPAC - União Internacional de Química Pura e Aplicada

K - Potássio

LSPA - Levantamento Sistemático da Produção Agrícola

Mg - Magnésio

N - Nitrogênio

Na - Sódio

PNAD - Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios

RSU - Resíduos Sólidos Urbanos

ZnCl<sub>2</sub> - Cloreto de Zinco

## RESUMO

A crescente utilização de resíduos alternativos para a produção de carvão ativado potencializou este projeto de pesquisa com o intuito de desenvolver novos carvões ativados a partir da utilização do resíduo do coco, da banana e da laranja como material precursor, favorecendo a sustentabilidade do ambiente. Foram realizadas análises específicas e oficiais, verificando as características texturais e químicas desses materiais, uma vez que a literatura não descreve as características do carvão ativado proveniente do material precursor que será utilizado. Primeiramente coletou-se a fibra-de-coco seco e bagaços/cascas de banana e de laranja para posterior preparação desse material através da impregnação com  $ZnCl_2$ , da ativação química e da realização de um teste de avaliação da eficiência do carvão. Os resultados obtidos foram um carvão ativado com massa de carbono fixo em todas as amostras (coco/banana = 25/75), (coco/banana = 75/25), (coco/laranja = 75/25), apresentando eficiência na diminuição dos valores de pH, CE e turbidez da água. Portanto, a produção de carvão ativado a partir de resíduos de coco, banana e laranja apresentaram, comparativamente, as características dos carvões ativados já produzidos por outros resíduos e mostrou ser uma alternativa viável para a indústria que tem interesse em produção de larga escala, beneficiando a indústria e o ambiente. O carvão ativado de banana e laranja diminuiu os valores de pH e CE; e o de laranja foi mais efetivo na redução da turbidez em 98,4 %.

**Palavras-chave:** Adsorção. Porosidade. Resíduo. Ativação.

## ABSTRACT

The increasing use of alternative waste activated carbon production ramped up this research project with the aim to develop new activated coals from coconut residue utilization, the banana and orange as precursor material, favoring the sustainability of the environment. Specific analyses were carried out and officers, noting the textural and chemical characteristics of these materials, since the literature does not describe the characteristics of activated carbon derived from the precursor material that will be used. First collected the fiber-to-dried coconut and banana and orange bagasse/cark for subsequent preparation of this material by impregnation with  $ZnCl_2$ , chemical activation and performing a test for evaluating the efficiency of the coal. The results were an activated carbon with carbon mass fixed in all samples (coconut/banana = 25/75), (coconut/banana = 75/25), (coconut/orange = 75/25), showing efficiency in the reduction of pH, electric conductivity values and turbidity of the water. Therefore, the production of activated carbon from waste coconut, banana and orange presented, comparatively, the characteristics of activated coals ever produced for other waste and proved to be a viable alternative for the industry that has a vested interest in large-scale production, benefiting the industry and the environment. The activated carbon of banana and orange decreased the pH and electric conductivity; and the Orange was more effective in reducing turbidity in 98.4%.

**Keywords:** Adsorption. Porosity. Residue. Activation.

# CAPÍTULO I

## 1.1 Introdução

O carvão ativado tem a capacidade de coletar seletivamente gases, líquidos e impurezas no interior dos seus poros, sendo por isso vastamente utilizado em sistemas de filtração. Porém, é importante ressaltar que o potencial do carvão é limitado. Um filtro de carvão ativado deixa de ser eficiente se todos os poros de sua estrutura estiverem preenchidos. A área de aderência comprometida faz com que as impurezas não se fixem ao carvão (ALVES, 2012).

O material que apresenta maior capacidade de adsorção, sendo amplamente utilizado para o tratamento de água e efluentes, é o carvão ativado. Entretanto, devido às perdas durante o processo de recuperação do adsorvente, sua utilização torna-se, muitas vezes, onerosa. Nesse sentido, existe um crescente interesse na busca de materiais alternativos de baixo custo que possam ser utilizados na produção de carvão ativado. O desafio é produzir o carvão ativado com as características dos carvões já industrializados comercialmente, ou seja, que apresente área superficial elevada, diversidade de poros e valor agregado, que justifique a pesquisa e a necessidade de uma melhor compreensão e práticas ambientalmente corretas (GONÇALVES et al., 2007; AUTA; HAMEED, 2011).

O bom desempenho dos carvões ativados nas reações de adsorção está relacionado às suas propriedades químicas e estrutura porosa. A adsorção com carvão ativado é uma operação que vem apresentando, em alguns trabalhos resultados positivos na remoção de poluentes, razão pela qual a fração orgânica vem mostrando eficiência de uso e viabilidade econômica, utilizando resíduo agroindustriais como: banana, laranja, acerola e caju (MACEDO, 2012); casca de arroz (SCHETTINO JR., 2007); erva-mate (GONÇALVES et al., 2007); endocarpo de coco da baía (FERNANDES, 2008); resíduos agroindustriais (PEREIRA, 2012); casca do tungue (NIEDERSBERG, 2012).

O Brasil é o terceiro maior produtor mundial de frutas, atrás apenas da Índia e da China. A laranja e a banana representam quase 60 % do volume total de frutas produzidas no Brasil (LEITE et al., 2014). Com uma colheita que excede 40 milhões

de toneladas anuais. Com um alto consumo interno, muito especialmente pela melhora da renda dos brasileiros, o País tem se destacado também nas crescentes exportações. O país tem potencial para se tornar o principal produtor mundial de coco, superando países como Indonésia, Índia, Filipinas e Sri Lanka, considerados os maiores produtores mundiais (ANUÁRIO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 2013).

Considerando o potencial de cultivo do coco, da banana e da laranja, em que o brasileiro e o nordestino, em particular, utilizam para alimentação, observa-se que depois de processadas sobram resíduos (casca, fibras e bagaços) que podem ser usados na produção de carvão ativado. Há necessidade de se encontrar metodologias alternativas, de menor custo, para o tratamento e o descarte ambientalmente correto desses resíduos, objetivo da pesquisa realizada neste projeto, já que a adsorção de agentes poluentes em carvão ativado pode representar uma dessas aplicações.

## 1.2 Objetivos

### 1.2.1 Objetivo geral

Produzir carvão ativado a partir de resíduos do coco, da banana e da laranja, a fim de contribuir para a preservação do ambiente com a diminuição de possíveis agentes poluidores.

### 1.2.2 Objetivos específicos

- Obter as matérias-primas casca do coco, da banana e da laranja a serem utilizadas no experimento;
- Adequar misturas dos resíduos em doses estipuladas em experimento anterior;
- Preparar o carvão ativado de acordo com o carvão obtido previamente;
- Produzir carvão ativado quimicamente;
- Testar o carvão ativado na adsorção de material poluente da água do rio Capibaribe, Recife, Pernambuco.

## 1.3 Revisão de Literatura

### 1.3.1 Resíduos agroindustriais

A geração de resíduos e subprodutos é inerente a qualquer setor produtivo. Os setores agroindustriais e de alimentos produzem grandes quantidades de resíduos, tanto líquidos quanto sólidos. Com a preocupação de grave impacto ambiental que causam esses resíduos e pressão das novas legislações ambientais, na última década, a utilização desses resíduos tem sido objetos de vários estudos (BONILLA HERMOSA, 2014).

Resíduos agroindustriais são gerados no processamento de alimentos, fibras, couro, madeira, produção de açúcar e álcool etc., sendo sua produção, geralmente, sazonal, condicionada pela maturidade da cultura ou oferta da matéria-prima. São exemplos a casca de arroz, casca de banana e o caroço de algodão (ABIB, 2011).

Para Rosa et al. (2011), de forma geral, os resíduos da agroindústria e agrícolas de processamento de produtos de origem vegetal (frutas, oleaginosas, fibrosas, madeiras etc.) e origem animal (laticínios, avicultura de corte, aquicultura etc.) apresentam em suas composições diferentes constituintes, que abrem muitas oportunidades de agregação de valor.

De acordo com os dados do Ministério do Meio Ambiente, o Brasil gera em média 90 milhões de toneladas de lixo por ano e cada brasileiro produz, aproximadamente, 500 gramas de lixo por dia, podendo chegar a mais de 1 (um) kg. Dentre os resíduos sólidos, o lixo produzido no país, 76 % são jogados nos lixões e outros 13 % nos chamados aterros controlados (FADINI; FADINI, 2001), gerando assim vetores que serão proliferadores de doenças.

Ainda de acordo com Fadini e Fadini (2001) o fato é que o lixo passou a ser encarado como um problema, o qual deveria ser combatido e escondido da população. A solução para o lixo, naquele momento, não foi encarada como algo complexo, pois bastava simplesmente afastá-lo, descartando-o em áreas mais

distantes dos centros urbanos, os lixões.

Segundo a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE, 2011), os números mostram que quando o assunto é lixo, o Brasil ainda precisa avançar e muito. Cada brasileiro produz em média 383 quilos de lixo por ano. A quantidade de lixo cresceu 21 % só na última década, mas o tratamento adequado dado a esses resíduos não aumentou. Só 3 % dos resíduos sólidos produzidos nas cidades brasileiras são reciclados, apesar de 1/3 de todo o lixo urbano ser potencialmente reciclável. Em 2010 o Congresso aprovou, depois de 20 anos de discussão, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei 12.305/10). A intenção é estimular a reciclagem e a chamada logística reversa – quando o fabricante é responsável por recolher a embalagem do produto usado. Esse sistema já funciona no Brasil para o setor de agrotóxicos, pilhas e pneus.

Segundo Brígida (2013), uma tonelada de banana gera quatro toneladas de resíduos orgânicos provenientes da bananeira. No caminho entre a lavoura e o consumidor final, entre 20 % e 30 % dos grãos, frutas e hortaliças são desperdiçados. Metade do peso da laranja é feito de casca, sementes e bagaço, que também são desprezados. Para evitar o desperdício e gerar lucro a partir dos resíduos, a melhor solução é pensar em uma cadeia de produção integrada.

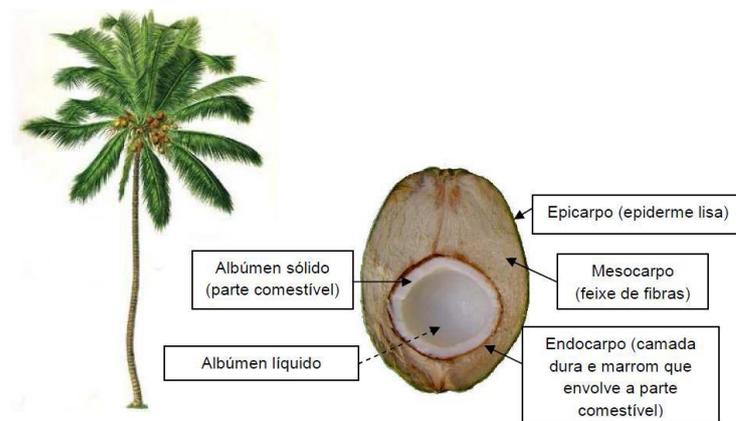
Para Maciel (2013), uma opção é o emprego da casca de banana como precursor de carvão ativado, por se tratar de um material de baixo custo e de grande disponibilidade no território nacional. A casca corresponde de 30 % a 40 % do peso total da fruta e apresenta em sua composição grupos de hidroxila e de carboxila da pectina. Estes grupos garantem a sua capacidade de adsorção de metais pesados e composto orgânicos no tratamento de efluentes.

### **1.3.2 Coco (*Cocos nucifera*)**

É originado do sudeste da Ásia, sendo cultivado em mais de 85 países, ocupando uma área de 14 milhões de hectares. No Brasil, o *Cocos nucifera* foi introduzido pelos portugueses em 1553, proveniente de Cabo Verde, com entrada

pelo estado da Bahia e posterior dispersão por todo litoral nordestino e daí para todas as regiões do Brasil. O coqueiro (Figura 1) é considerado a árvore da vida, visto que dele se obtém mais de 100 produtos e subprodutos, destacando-se dentre esses a água de coco, coco ralado e o leite de coco (SILVA; JERÔNIMO, 2012).

Figura 1 - Coqueiro e corte longitudinal do coco verde com a descrição de suas partes



**Fonte:** Pereira (2012).

De acordo com Siqueira (2002), o coqueiro é uma planta de grande importância socioeconômica, que além de produzir a água, o albúmen sólido para indústria de alimentos e de óleos, gera ainda uma grande quantidade de subprodutos e resíduos. No Brasil, com uma área plantada de 290.515 hectares é produzido anualmente cerca de 2,29 bilhões de cascas, 469,76 milhões de folhas que caem naturalmente da planta e 469,76 milhões de cachos com ramos florais e brácteas, o que corresponde 3,84 milhões de toneladas de resíduos, sendo 1,53 milhões de cascas e 1,69 milhões de folhas.

Existem no Brasil empresas que atuam na reciclagem de coco verde buscando agregar valor no desenvolvendo de produtos sustentáveis. O reaproveitamento de resíduos sólidos originados dos diferentes processos industriais vem recebendo mais atenção nos últimos anos, sendo que esses resíduos envolvem significativas quantidades de materiais, que são fontes de matéria-prima orgânica e

que podem ser reaproveitados e utilizados na fabricação de outros produtos (JERÔNIMO; COELHO, 2012).

A maioria das cascas de coco são queimadas ou descartadas como lixo nas propriedades rurais produtoras de coco, nas ruas das grandes cidades e em lixões. Quando queimados produzem substâncias poluidoras do ambiente, quando descartados constituem meio adequado para procriação de animais peçonhentos e insetos, vetores de doenças, servindo como agente poluidor e de risco para a saúde da população (NUNES et al., 2007).

### **1.3.3 Banana (*Musa sp.*)**

Da família *Musaceae*, originárias do sudeste da Ásia, exceção da banana-da-terra, que é nativa do Brasil, são cultivadas em mais de 125 países. Com alto valor nutricional, sendo considerada boa fonte energética, classificada como a quarta fonte de energia, depois do milho, arroz e trigo (PACHECO-DELAHAYE; TESTA, 2005).

De acordo com Leite et al. (2010), as bananas formam-se em cachos na parte superior dos "pseudocaulis" que nascem de um verdadeiro caule subterrâneo (rizoma ou cormo) cuja longevidade chega há 15 anos ou mais. Depois da maturação e colheita do cacho de bananas, o pseudocaulis morre "ou é cortado", dando origem, posteriormente, a um novo pseudocaulis.

A banana é uma das frutas mais importantes do mundo, tanto no que se refere à produção quanto à comercialização. Para muitos países, além de ser um alimento complementar da dieta da população, a banana apresenta grande relevância social e econômica, servindo como fonte de renda para muitas famílias de agricultores (FIORAVANÇO, 2003).

Segundo a FAO (2002), a banana é a fruta mais cultivada no mundo, sendo em muitos países responsável pela arrecadação e geração de emprego para expressiva parte da população. A fruta é rica em carboidratos, vitaminas e minerais

e é considerado, por nutricionistas, um alimento importante em todas as idades. No Brasil, a banana possui forte aceitação e sua produção é destinada quase que totalmente ao consumo interno.

A banana é a segunda fruta mais consumida no planeta, com 11,4 kg/hab/ano. Perde apenas para a laranja, com 12,2 kg/hab/ano. O continente americano é o maior consumidor, com 15,2 kg/hab/ano, destacando-se a América do Sul, com 20 kg/hab/ano e a América Central, com 13,9 kg/hab/ano (FAO, 2013).

São mais de 125 países que se dedicam ao cultivo da banana no mundo. Em alguns deles, a atividade se destaca como uma das principais fontes de arrecadação e geração de emprego e renda. O continente asiático lidera a produção dessa fruta, com 58 % do volume produzido; o continente americano vem em segundo lugar, com 26 % (América do Sul, com 17 % e a América Central, com 8 %) e o continente africano, em terceiro lugar, com 14 %. A banana destaca-se na primeira posição no ranking mundial das frutas, com uma produção de 106,5 milhões de toneladas. O Brasil produz 7,3 milhões de toneladas, com participação de 6,9 % (VIEIRA, 2014).

O Brasil é o terceiro maior produtor mundial de frutas, com uma colheita que excede 40 milhões de toneladas anuais. Com um alto consumo interno, muito especialmente pela melhora da renda dos brasileiros, o País tem se destacado também nas crescentes exportações (ANDRIGUETO, 2009). É o segundo maior produtor mundial de banana, sendo Minas Gerais o quinto maior produtor dentre os estados. O país tem safra estimada de 7,30 milhões de toneladas por ano (CORDEIRO, 2003). A região norte de Minas Gerais é a maior produtora de banana do Estado, com produção estimada de 140 mil toneladas por ano, ou seja, 26 % da produção estadual de banana, conforme dados da Superintendência de Política e Economia Agrícola, com base no levantamento da Embrapa (2005).

A utilização de alimentos alternativos, como os subprodutos da indústria do processamento de banana (*Musa sp.*), tem sido empregado em pequenas

propriedades rurais do norte de Minas, sendo justificado pela escassez de chuvas e pela baixa qualidade do volumoso disponível para os animais durante o período da seca (MONÇÃO et al., 2014).

Segundo a EMBRAPA (2005), a banana é a segunda fruta mais produzida no Brasil e é consumida em diversas formas. Porém, a sua casca geralmente é descartada, ou, em alguns casos, é utilizada na alimentação de animais ou eventualmente em compostagem. Existem poucos trabalhos na literatura que relatam o aproveitamento dos resíduos da banana como insumo da produção de algum tipo de material útil para o ambiente. O uso destes resíduos permitiria a redução da poluição ambiental, e também agregaria valor à cultura da banana.

A Região Nordeste é a maior produtora brasileira de banana, destacando-se os estados da Bahia, Ceará, Pernambuco e Rio Grande do Norte. Em Pernambuco, a banana é cultivada em todas as microrregiões, ocupando cerca de 80 mil postos de trabalho permanente no campo (ALMEIDA, 2011). A Tabela 1 mostra a produção de 2013 e a previsão para 2014 (IBGE, 2014).

Tabela 1- Levantamento Sistemático de Produção Agrícola – LSPA

Fruta	Produção (t)	
	2013	2014
<b>Coco</b>	1.880.312	1.938.230
<b>Banana</b>	6.947.786	7.182.714
<b>Laranja</b>	16.284.476	14.828.280

**Fonte:** IBGE (dez 2014).

De acordo com Zhang et al. (2010), existem poucos trabalhos na literatura que mencionam o aproveitamento das cascas, que causam problemas ambientais. De acordo com Fernandes (2010), as cascas de bananas podem ter um destino muito mais nobre e útil do que o lixo. Um estudo realizado por Boniolo (2008), em São Paulo, mostrou que elas podem ser usadas para remover metais pesados da

água, como o urânio. Além de ser uma alternativa para descontaminar o ambiente, o uso da casca de banana ajuda a diminuir o lixo gerado pelo próprio descarte da fruta, feito em grandes quantidades no Brasil (FERNANDES, 2007; ROSSO, 2009).

No processo agrícola existe o cultivo do produto de interesse que, na maioria das vezes, é tratado como resíduo e como tal não tem o seu devido valor, ou seja, outra aplicação lucrativa; logo, são descartados. Entretanto o reprocessamento desse material pode gerar novos produtos de valor agregado.

Os resíduos gerados na agroindústria da banana estão disponíveis em abundância em todo o país (CEPA, 2011). A remoção desse tipo de resíduo do campo visando reduzir o seu impacto ao meio-ambiente está evidenciada em todo o mundo, especialmente no sentido de aplicar tecnologias para o seu aproveitamento como fonte alternativa de energia. Existem diferentes tecnologias para o aproveitamento energético desse tipo de resíduo, entre as quais a produção de carvão ativado (SOUZA et al., 2013).

#### **1.3.4 Laranja (*Citrus sinensis*)**

De origem asiática, ainda em definição se é originário da Índia ou China, as plantas cítricas foram introduzidas no Brasil pelas primeiras expedições colonizadoras, como os portugueses no século XVI. Em territórios brasileiros, encontrando características climáticas favoráveis para desenvolver e produzir em comparação com as próprias regiões originárias, as plantas denominadas então de citrinas, se expandiu para todo o país (OLIVEIRA; MOURA, 2012).

Desde a chegada dos portugueses ao Brasil, entre 1530 e 1540, a laranja foi introduzida nos estados da Bahia e São Paulo. Com o clima e condições ecológicas favoráveis as laranjeiras desenvolveram-se e produziram grandes quantidades de frutas com excelente qualidade quando comparado as produzidas em Portugal (AZEVEDO, 2003; ALMEIDA, 2011).

A laranja é uma fruta muito cultivada no Brasil e se espalhou pelo território brasileiro, sofrendo mutações e dando origem a novas variedades. Sendo

consumida *in natura*, em forma de ingredientes de diversos pratos da culinária brasileira ou em formas de sucos. Além de ser uma fruta saborosa, a laranja possui propriedades calmantes e antidepressivas, além de possuir óleos essenciais em sua casca que geralmente são utilizados em perfumes, cosméticos e em produtos de limpeza (FIORENTIN et al., 2010; FAO, 2011; FRANCO JR. et al., 2012; PASSOS et al., 2013). Segundo Neves (2000), o Brasil tornou-se, a partir da década de 80, o maior produtor mundial de laranja.

A produção brasileira de citros está concentrada nas regiões Sudeste e Nordeste, especialmente nos estados de Alagoas, Ceará e Pernambuco (ALMEIDA, 2011).

O estado de São Paulo é o maior produtor de laranja do país e produz diversas variedades de laranja, como a Pera, a Valência, Hamlin, Natal, Folha Murcha, e outras variedades. Essas variedades têm como principais destinos as indústrias de sucos; porém, a variedade de Laranja Pera é destinada para os mercados de frutas frescas (CDA, 2012).

Segundo o Levantamento Sistemático de Produção Agrícola - LSPA (IBGE, 2014), o Brasil teve em 2013 uma área plantada de 788.787 ha, tendo uma produção de 16.284.476 toneladas. Em contrapartida, a esta produção surge também o problema do grande volume de geração de resíduos sólidos, que tem, como principal malefício, a destinação final inadequada.

### **1.3.5 Carvão**

O carvão brasileiro foi identificado pela primeira vez, em 1795, no Estado do Rio Grande do Sul; em 1823, no Estado de Santa Catarina e, em 1928, no Estado do Paraná. É originado dos períodos Permiano e Carbonífero Inferior há cerca de 280 milhões de anos, sendo da mesma idade dos carvões da África do Sul, Moçambique, Índia e da Austrália (GERMANI, 2010).

O carvão vegetal é proveniente da queima parcial da madeira. Na era primitiva, o homem utilizava pedaços de madeira em chamas para iluminar as

cavernas ou aquecer-se. Possivelmente não tardou a perceber que, ao utilizar a madeira queimada, de aspecto preto e friável, esta não produzia chama e nem tanta fumaça, gerando calor de forma mais controlável que aquele produzido pela queima direta da madeira (JUVILLAR, 1980), marcando a descoberta do carvão vegetal e seu uso como combustível.

De acordo com Guardabassi (2006), à medida que a evolução da humanidade aconteceu a utilização do carvão vegetal foi se tornando mais intensa. Substituído por combustíveis fósseis em alguns casos, em muitos lares de países subdesenvolvidos ainda é um combustível imprescindível.

De acordo com Santos (2007), o homem moderno procura aliar crescimento a desenvolvimento sustentável desde a utilização da energia a vapor no século XVIII, fato marcante que abriu caminho para a consolidação do uso da energia em escala crescente para a modernidade, passando, nessa busca, pela utilização de fontes como o petróleo e a eletricidade, entre outras. Essa demanda pelo crescimento sustentável tem levado cada vez mais à necessidade da utilização de energias alternativas e renováveis.

### **1.3.6 Processo de ativação**

Para Rocha et al. (2012), a ativação do carvão pode ser realizada por processos físicos ou químicos, após a etapa de carbonização. Os processos de ativação visam à obtenção de um carvão microporoso, pela retirada de componentes orgânicos como o alcatrão, creosoto e naftas, além de outros resíduos que possam obstruir os poros. Estas técnicas levam à formação de sítios eletricamente instaurados, com intensificada capacidade adsortiva.

A ativação física é o processo pelo qual o precursor desenvolve uma estrutura porosa, aumentando sua área superficial, pela ação de um tratamento térmico a uma temperatura que pode variar na faixa de 700 a 1000 °C sob o fluxo de um apropriado gás oxidante, vapor de água, CO<sub>2</sub> ou ar atmosférico, usados individualmente ou combinados (NIEDERSBERG, 2012).

Na ativação química o precursor é impregnado com um agente ativador, podendo este ser o ácido fosfórico ( $H_3PO_4$ ), cloreto de zinco ( $ZnCl_2$ ), ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ), hidróxido de sódio ( $NaOH$ ), entre outros. O que estes agentes têm em comum é a capacidade desidratante que influencia na decomposição por pirólise, inibindo a formação de betuminosos no interior dos poros (SCHETTINO JR., 2004).

Almansa et al. (2004) optam pelo uso da ativação química com  $ZnCl_2$  na preparação de carvão ativado utilizando caroço de azeitona como material precursor. Utilizando uma proporção de 1:2 (caroço de azeitona:  $ZnCl_2$ ) e com uma temperatura de queima de 800 °C, obteve-se um carvão microporoso ( $0,6 \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1}$  de microporos) e praticamente sem a presença de poros maiores.

Mohammadi et al. (2010) testaram o potencial do caroço do fruto espinheiro-do-mar na produção de carvão ativado. Foram testados o  $H_3PO_4$  e o  $ZnCl_2$  como agentes químicos para o tratamento prévio, ambos em uma proporção 1:2 (material precursor: agente químico). Após o processo de queima, por três horas em uma temperatura de 550 °C, atingiu-se uma área superficial específica de  $1.071 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$  para o material tratado com o  $H_3PO_4$  e  $829 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$  para o material tratado com  $ZnCl_2$ . Além disso, o material demonstrou eficiência na adsorção de chumbo – Pb (II) em ambas as situações.

Para Niedersberg (2012), a ativação com  $ZnCl_2$  cria mais espaço entre as cadeias de carbono, resultando em mais microporosidade e maior área de superfície em comparação ao processo sem o uso do agente químico.

De acordo com Fernandes (2008), uma das funções mais importantes do  $ZnCl_2$  é a dilatação da estrutura molecular da celulose presente nos materiais carbonáceos, consequência da quebra de ligações laterais das moléculas de celulose, e que resulta no aumento de espaços inter e intra micelas. Em consequência, o  $ZnCl_2$  promove o desenvolvimento da estrutura dos poros do carvão ativado.

### 1.3.7 Carvão ativado

Carvão Ativado (CA) era usado pelos egípcios por volta de 1500 a.C. como um adsorvente para fins medicinais além de um agente purificante. Os antigos hindus, na Índia, purificavam sua água de beber com carvão (LIMA, 2010). A primeira indústria para a produção de carvão ativado teve início em 1900 para o uso no refino de açúcar (MOLINA-SABIO et al., 1995). Posteriormente, a maior utilidade do carvão ativado foi na I Guerra Mundial, produzido na forma granular para ser utilizado nas máscaras de gás (PATRICK, 1995). Após a década de 50 foi desenvolvida a manufatura de carvão ativado em pó e o seu uso foi amplamente estendido para a purificação de água e no controle na emissão de poluentes.

O Carvão Ativado (CA) é um produto quimicamente inativo, obtido geralmente de substâncias com alto teor de carbono (material precursor). Usado para a remoção de impurezas dissolvidas nos produtos a serem tratados. O mecanismo de remoção das impurezas consiste no processo de adsorção e retenção, em que as impurezas são atraídas pela porosidade existente no carvão ativado. O carvão ativado (Figura 2) é o adsorvente mais utilizado no processo de tratamento de água, por apresentar alta área superficial e porosidade desenvolvida (MANGUEIRA, 2014).

Figura 2 - Corte esquemático do carvão ativado



Fonte: Clark (2010).

De acordo com Zhang et al. (2010), resíduos de petróleo, carvão natural e madeiras foram, por um período de tempo, os principais precursores do carvão ativado. Os resíduos e subprodutos da agricultura (resíduos de frutas, sementes,

cascas de coco e nozes) têm sido utilizados com adsorventes para a remoção de poluentes oriundos da atividade industrial devido ao seu baixo custo e disponibilidade em abundância (DENG et al., 2011).

Segundo Alves (2012) e Calgon (2013), os carvões ativados podem ser fabricados na forma granular, em pó ou na forma de fibras a partir de uma grande variedade de matérias-primas.

O Carvão Ativado Granular (CAG) é considerado como o melhor adsorvente para a eliminação de compostos, tais como: os subprodutos derivados da desinfecção, que incluem os trihalometanos e outros compostos clorados, compostos aromáticos e poliaromáticos, pesticidas, herbicidas, detergentes e matéria orgânica natural que é a causadora da cor, odor e sabor de muitas das águas naturais.

O Carvão Ativado em Pó (CAP) é usado com os mesmos propósitos que o carvão ativado granular, a diferença está no tamanho, (aproximadamente 44  $\mu\text{m}$  do pó, e de 0,6 a 4 mm do granular) que permite velocidades de adsorção mais rápidas. Os carvões ativados em pó são utilizados geralmente como aditivos em batelada, na separação e concentração de produtos em áreas tão diversas como alimentação, produtos farmacêuticos, químicos, petróleo, energia nuclear e indústrias automotivas.

Segundo a classificação da International Union of Pure and Applied Chemistry – IUPAC (1982), a porosidade pode ser classificada segundo o diâmetro médio dos poros, como apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 - Classificação quanto a porosidade

<b>Tipo de poro</b>	<b>Diâmetro do poro</b>
<b>Microporos</b>	$\phi < 2 \text{ nm}$
<b>Mesoporos</b>	$2 \text{ nm} < \phi < 50 \text{ nm}$
<b>Macroporos</b>	$\phi > 50 \text{ nm}$

**Fonte:** IUPAC (1982).

### 1.3.8 Adsorção

Para Pereira (2011), adsorção ocorre quando uma superfície sólida é exposta a um gás ou líquido, e é definida como o enriquecimento de certo material ou o aumento da densidade do fluido na vizinhança de uma interface.

Para Loureiro (2012), é a técnica de passagem de um constituinte em fase fluida para a superfície de outro em fase sólida. É o fenômeno físico-químico em que o componente em fase líquida é transferido para a superfície de uma fase sólida. A adsorção é um fenômeno de superfície no qual um soluto é removido de uma fase e acumulado na superfície da segunda fase. O material adsorvido é denominado adsorvato, e o meio onde se faz o acúmulo são chamados de adsorvente (PEREIRA, 2012).

No entanto, vale ressaltar que estudo tem demonstrado que sólidos poucos porosos podem ser utilizados como adsorventes, caso haja afinidade entre os grupos químicos presentes na superfície do material e o adsorvato (OLIVEIRA; FRANÇA, 2011); logo, a aplicação de um material mais cominuído, ou seja, de menor granulometria, pode favorecer o processo de troca na superfície externa. A Figura 3 representa a adsorção de gases e produtos químicos pelo carvão ativado - CA.

A tecnologia dos processos de adsorção ainda se encontra em um estágio menos desenvolvido que a maioria dos processos e operações unitárias de separação, tais como destilação, extração líquido-líquido, lixiviação e o processo de absorção. Tal evidência se justifica pela complexidade do fenômeno e pela escassez de dados experimentais completos que dificultam o desenvolvimento de novos modelos, bem como a avaliação daqueles apresentados na literatura. Esta complexidade pode ser atribuída a vários fatores, entre estes a não uniformidade da maioria dos sólidos, os quais são frequentemente heterogêneos, possuindo não só uma distribuição larga no tamanho de poros, mas também diferentes formas de poro, além de uma distribuição de energia nos sítios ativos, e poros bloqueados e interconectados (BRANDÃO, 2006).

Figura 3 - Representação do processo de adsorção pelo carvão ativado



**Fonte:** ACTIVBRAS (2010).

As moléculas e átomos podem se ligar através de duas maneiras à superfície sólida: adsorção física e adsorção química (ATKINS; DE PAULA, 2011).

A adsorção física também chamada de fisissorção é caracterizada pelo estado de interação entre adsorvato e a matriz adsorvente através de forças de van der Waals. Essas forças são relativamente fracas, e não comprometem, quimicamente, os elementos envolvidos nesta ligação. Na adsorção física as moléculas são atraídas para todos os pontos da superfície do sólido e estão apenas limitadas pelo número que se pode encaixar em cada camada de moléculas adsorvidas, podendo haver diversas camadas nas paredes do sólido (BOTTANI; TASCÓN, 2008).

De acordo com Porpino (2009), na adsorção química há o envolvimento de interações químicas entre o fluido adsorvido e o sólido adsorvente, onde ocorre a transferência de elétrons, equivalente à formação de ligações químicas entre o adsorbato e a superfície do sólido. Neste caso, a energia de adsorção é da mesma ordem de grandeza dos calores de reações químicas. Na adsorção física podem

formar-se camadas moleculares sobrepostas, enquanto que na adsorção química se forma uma única camada molecular adsorvida.

A adsorção pode ocorrer em uma única camada de moléculas acima da superfície sólida (adsorção unimolecular ou monomolecular), ou também pode ocorrer em diversas camadas em que existe interação de atração entre a molécula adsorvida e a que está no meio fluido. O processo de adsorção é, muitas vezes, reversível, de modo que a modificação da temperatura e/ou pressão, ou pH, pode provocar a fácil remoção do soluto adsorvido no sólido (CLARK, 2010). Na Tabela 3, estão resumidas as principais características da adsorção física e química.

Tabela 3 – Comparações entre adsorção física e química do carvão ativado

<b>Adsorção Física</b>	<b>Adsorção Química</b>
Causada por forças eletrostáticas, como de van der Waals	Causada por compartilhamento de elétrons
Não há transferência de elétrons	Há transferência de elétrons
Calor de adsorção = 2 - 6 kcal mol <sup>-1</sup>	Calor de adsorção = 10 - 200 kcal mol <sup>-1</sup>
Fenômeno geral para qualquer espécie	Fenômeno específico e seletivo
A camada adsorvida pode ser removida por aplicação de vácuo à temperatura de adsorção	A camada adsorvida só é removida por aplicação de vácuo e aquecimento à temperatura acima de adsorção
Formação de multicamada abaixo da temperatura crítica	Somente há formação de monocamadas
Acontece somente abaixo da temperatura crítica	Acontece também a altas temperaturas
Lenta ou rápida	Instantânea
Adsorvente quase não é afetado	Adsorvente altamente modificado na superfície

**Fonte:** Clark (2010).

Conforme Fernandes (2008), o processo de adsorção depende de vários fatores, os quais incluem: natureza do adsorvente, adsorbato e as condições de adsorção. A capacidade de adsorção de um material é determinada pela sua área superficial específica, presença, tamanho e distribuição de poros, teor de cinzas, densidade e a natureza de grupos funcionais presentes em sua superfície.

Para Rocha et al. (2012), a adsorção depende, principalmente, das propriedades do adsorbato e da estrutura química da superfície do adsorvente. Para qualquer processo, os principais parâmetros a serem considerados são concentração da solução, temperatura, pH, tempo de contato e velocidade de agitação. Dessa forma, faz-se necessário investigar as relações entre a eficiência de adsorção e os parâmetros que a afetam.

Um dos métodos preferidos para determinar a área superficial de um sólido poroso é através da equação de Brunauer, Emmett e Teller (BET), que fornece a cobertura de uma monocamada de gás à mesma temperatura de liquefação deste gás. Vários adsorbatos são usados nestas medidas de área superficial, sendo o mais comum o nitrogênio (N<sub>2</sub>) a 77 K (-196,15 °C). Entretanto, o nitrogênio não permite uma resposta mais confiável do que qualquer outro adsorbato como vapor d'água, dióxido carbono, argônio etc. O fato de ser mais usado é pela facilidade com a qual a isoterma completa é determinada (ASSIS, 2008).

### 1.3.9 Material precursor

O material precursor nada mais é do que a matéria-prima a ser utilizada para a fabricação do adsorvente (NIEDERSBERG, 2012). Nesta pesquisa foram utilizados os resíduos do coco, da banana e da laranja.

Os principais precursores do carvão ativado produzido em escala comercial são as madeiras do pinus (*Pinus elliottii Engelm*) e do eucalipto (*Eucalyptus*), e o endocarpo do coco-da-baía (*Cocus nucifera*). Sendo que a principal utilização das madeiras do pinus e do eucalipto é na produção de papel e celulose. O Brasil encontra-se, atualmente, com falta de matéria-prima para a produção de carvão

ativado. Embora este insumo venha desempenhando um papel muito importante, pois possui uma produção inferior à sua crescente demanda. Dessa forma, estudos referentes à preparação de carvão ativado produzidos a partir de resíduos podem trazer, além de benefícios ambientais, soluções na busca por matérias-primas mais baratas e abundantes (NUNES, 2009).

Nos últimos anos, vários tipos de carvão ativado foram elaborados a partir de materiais precursores de baixo custo que são, principalmente, resíduos vegetais, tais como as cascas de pinhão-manso (*Jatropha curcas*) (TONGPOOTHORN et al., 2011), vagem de flamboyant (*Delonix regia*) (VARGAS et al., 2011), as sementes de goiaba (*Psidium guajava*), cascas de amêndoas (*Prunus amygdalus*), casca de dendê (*Elaeis guineensis*) (NABAIS et al., 2011; ROCHA, 2006; LARGITTE, 2000), bagaço da azeitona (*Elaeis guineensis*) (DEMERAL et al., 2011); cascas de arroz (*Oryza sativa*) (CARNEIRO, 2010; KRISHNAN; ANIRUDHAN, 2002), casca de laranja (*Citrus sinensis*) (KHALED et al., 2009), fibra de palma (*Opuntia cochenillifera*) (TAN et al., 2007), casca de noz (*Carya illinoensis*) (AHMEDNA et al., 2004), resíduo do café (*Coffea arabica*) (BAQUERO et al., 2003), casca de avelã (*Corylus avellana*), casca de noz (*Carya illinoensis*) (AYGUN et al., 2003), casca de arroz (*Oryza sativa*) (MALIK, 2003), grãos de sorgo (*Sorghum bicolor*) (DIAO et al., 2002) e casca de coco (*Cocus nucifera*) (NAMASIVAYAM; KAVITHA, 2002).

## 1.4 Referências

ACTIVBRAS. **Generalidades do Carvão Ativado**. Disponível em: <<http://www.activbras.com.br/generalidades.html>>. Acesso em: 02 out 2014.

ALMANSA, C.; MOLINA-SÁBIO, M.; RODRIGUEZ-REINOSO, F. Adsorption of methane into ZnCl<sub>2</sub>- activated carbon derived discs. **Microporous and Mesoporous Material**. v. 76, p. 185 - 191. 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA INDÚSTRIAS BIOMASSA BRASIL – ABIB. **Biomassa e energia renovável**. Inventário residual brasil. Wood Pellets - Briquete – Energia, 2011. E-book. Disponível em:<<http://pt.calameo.com/read/000200968cc3a949579a0>>. Acesso em 27 fev 2014.

ALMEIDA, C. O. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Embrapa Mandioca e Fruticultura Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Citricultura brasileira em busca de novos rumos**. Desafios e oportunidades na região Nordeste. 2011. Disponível em: <[http://livraria.sct.embrapa.br/liv\\_resumos/pdf/00083440.pdf](http://livraria.sct.embrapa.br/liv_resumos/pdf/00083440.pdf)>. Acesso em: 17 maio 2014.

ALVES, C. C. O. **Remoção de aminoácidos aromáticos de soluções aquosas por adsorvente preparado de resíduo agrícola**. 2012. Faculdade de Farmácia da UFMG Belo Horizonte, MG 2012. Disponível em: <[http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/BUOS-8Z7PQF/tese\\_cibele\\_c.\\_o\\_lves\\_2012.pdf?sequence=1](http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/BUOS-8Z7PQF/tese_cibele_c._o_lves_2012.pdf?sequence=1)> Acesso em: 14 abr 2014.

ALVES, L. **Equipe Brasil Escola**. Disponível em: <[www.brasilecola.com/quimica/carvao-ativado](http://www.brasilecola.com/quimica/carvao-ativado)>. Acesso em: 17 jul. 2012.

ANUÁRIO BRASILEIRO DA FRUTICULTURA, Santa Cruz do Sul: **Gazeta Santa Cruz**, p. 136, 2013.

ANDRIGUETO, J. R.; et al. **Produção integrada no Brasil:** agropecuária sustentável alimentos seguros / Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretária de Desenvolvimento Agropecuário e Cooperativismo. – Brasília: Mapa/ACS, 2009. 1008 p. v.il. color. Disponível em: <[http://www.agricultura.gov.br/arq\\_editor/file/Desenvolvimento\\_Sustentavel/Produ%C3%A7%C3%A3o%20Integrada/PI\\_Brasil.pdf](http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/file/Desenvolvimento_Sustentavel/Produ%C3%A7%C3%A3o%20Integrada/PI_Brasil.pdf)>. Acesso em: dez 2014.

ASSIS, C. F. C. **Caracterização de carvão vegetal para a sua injeção em altos fornos a carvão vegetal de pequeno porte.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais). Ouro Preto. 113p. 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS - ABRELPE. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2010.** São Paulo, 2011. Disponível em: <[www.abrelpe.org.br/panorama\\_2010.php](http://www.abrelpe.org.br/panorama_2010.php)>. Acesso em: 14 abr. 2014.

AZEVEDO, C. L. L. **Sistema de produção de citros para o Nordeste.** Embrapa. 2003

ATKINS, P. W; DE PAULA, J. **Físico-química: fundamentos.** 5. ed. [reimp. 2012]. Rio de Janeiro: LTC, 2011. 493p. ISBN 9788521618652.

AUTA, M.; HAMEED, B. H. Preparation of waste tea activated carbon using potassium acetate as an activating agent for adsorption of Acid Blue 25 dye. **Chemical Engineering Journal.** v. 171, p. 502-509, 2011.

AYGUN, A; KARAKAS, S. Y; DUMAN I. Production of Granular Activated Carbon from Fruit Stones and Nutshells and Evaluation of their Physical, Chemical and Adsorption Properties. **Microporous and Mesoporous Materials.** v. 66, p.189–195, 2003.

BALIEIRO NETO, G.; SIQUEIRA, G.R.; REIS, R.A.; NOGUEIRA, J.R.; ROTH, M.T.P.; OTH, A.P.T.P. Óxido de cálcio como aditivo na ensilagem de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira e Zootecnia,** v.36, n.5, p.1231-1239, 2007.

BENASSI, A. C. **Caracterizações biométrica, química e sensorial de frutos de coqueiro variedade Anã Verde**. Doutorado (Programa de Pós-Graduação em Agronomia), Universidade Estadual Paulista. Jaboticabal-SP, 98p, 2006.

BONILLA HERMOSA, V. A. **Aproveitamento dos resíduos do processamento semi-seco do café para produção de composto de valor agregado**. Dissertação (Mestrado em Microbiologia Agrícola), Universidade Federal de Lavras. Lavras-MG, 79p, 2014.

BONIOLO, M. R. **Biossorção de urânio nas cascas da banana**. Dissertação (Mestrado em ciências tecnologia nuclear). Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – IPEN, São Paulo-SP, 122p. 2008.

BOTTANI, E; TASCÓN, J. Adsorption by Carbons. **Elsevier Science & Technology Books**, 2008.

BRANDÃO, P. C. **Avaliação do Uso do bagaço de cana como adsorvente para remoção de contaminantes derivados do petróleo, de efluentes**. Uberlândia: Faculdade de Engenharia Química da UFU. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). 160p, 2006.

BRIGIDA, A I S. Cadeia de produção integrada é solução para resíduos agroindustriais. **Revista Globo Rural**. Jun 2013. Secção notícias sobre a natureza. Disponível em: <<http://revistagloborural.globo.com/Revista/Common/0,ERT338908-18095,00.html>>. Acesso em: 22 nov 2014.

CALGON. **Activated Carbons Principles**: Activated Carbon What it is, How it Works. Disponível em: <[www.calgoncarbon.com/solutions/literature.html](http://www.calgoncarbon.com/solutions/literature.html)>. Acesso em: 17 mar 2013.

COELHO, R. A. Cadeia de produção integrada é solução para resíduos agroindustriais, Publicado em 07/06/2013. FONTE: **Globo Rural**. Disponível em: <<http://www.fiepr.org.br/observatorios/agroalimentar/FreeComponent21871content217206.shtml>>. Acesso em: 23 set 2014.

COORDENADORIA DE DEFESA AGROPECUÁRIA – CDA. **Dados da Citricultura do Estado de São Paulo**. 1. Semestre 2012. Disponível em: <<http://www.defesaagropecuaria.sp.gov.br.php?action=dadosCitriculturaPaista>>. Acesso em 12 jul 2013.

Centro de Socioeconomia e Planejamento Agrícola de Santa Catarina - CEPA. **Síntese Anual da Agricultura de Santa Catarina – 2011**. Disponível em: <<http://www.cepa.epagri.sc.gov.br>>. Acesso em: 12 mar 2014.

CLARK, H. L. M. **Remoção de fenilalanina por adsorvente produzido a partir da torta prensada de grãos defeituosos de café**. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos). Faculdade de Farmácia, UFMG, Belo Horizonte. 115p. 2010.

CLAUDINO, A. **Preparação de carvão ativado a partir de turfa e sua utilização na remoção de poluentes**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 90p. 2003.

COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM - CEMPRE. **Pesquisa CICLOSOFT 2010**. Disponível em: <<http://www.cempre.org.br>>. Acesso em: 11 abr 2014.

CORDEIRO, Z. J. M. **Cultivo da banana para o estado de Rondônia**. Importância econômica. EMBRAPA mandioca e fruticultura. Jan 2003. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Banana/Rondônia/importancia.htm>>. Acesso em: 19 Jul 2013.

CORTEZ, L. A. B.; LORA, E. E. S.; GÓMEZ, E. O. **Biomassa para Energia**. Campinas, SP: Editora da UNICAMP, 2008.

DENG, H. et al. Adsorption of methylene blue on adsorbent materials produced from cotton stalk. **Chemical Engineering Journal**, v. 172, p. 326-334, 2011.

EMPRAPA. **Cultivo de Banana em Rondônia**. EMBRAPA Rondônia. Sistemas de Produção, 2. Versão Eletrônica Dez.2005. Disponível em: <<http://www.sistemaderoducaocnptia.embrapa/cultivodabanana>>. Acesso em: 27 de Outubro de 2012.

EMPRESA DE PESQUISAS ENERGÉTICAS - EPE. Nota Técnica DEN 06/08: **Avaliação Preliminar do Aproveitamento Energético dos Resíduos Sólidos Urbanos de Campo Grande**, MS. EPE. Rio de Janeiro, 37p. 2008.

FADINI, P.S.; FADINI, A. A. B. Lixo: desafios e compromissos. **Cadernos temáticos de Química Nova na Escola**. São Paulo: Sociedade Brasileira de Química. n. 1, p. 9-18, maio de 2001.

FAO. **Crop water management**: banana. Roma, 2002. Disponível em: <<https://www.fao.org.br/>> Acesso em: 2 abr 2014.

FAO. **Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação**. Disponível em: <<https://www.fao.org.br/>>. Acesso em: 27 jun 2013.

FEDERIZZI, M. **Potencialidade do uso de resíduo lignocelulósicos da banicultura como substrato de fermentação do processo de metanização**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos). Universidade da Região de Joinville. 2008, 107p. Disponível em: <<http://livros01.livrosgratis.com.br/cp078482.pdf>>. Acesso em: 7 out 2014.

FERNANDES, F. L. **Carvão de endocarpo de coco da baía ativado quimicamente com ZnCl<sub>2</sub> e fisicamente com vapor d'água**: produção, caracterização, modificações químicas e aplicação na adsorção de íon cloreto. Dissertação (Mestrado em Química). Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa. 116p. 2008.

FERNANDES, K. A. D. Uso de carvão ativado de endocarpo de coco no tratamento de água. **Revista da graduação da PUCRS**, Porto Alegre, v. 3, n. 2, 17p. 2010. Disponível em: <<http://revistaseletronicas.pucrs.br/ojs/index.php/graduacao/article/view/File/7906/5591>>. Acesso em: 27 jun 2013. 17p.

FERNANDES, T. Banana para despoluir o ambiente. **Revista Ciência Hoje**, on-line, mar/2007. Disponível em: <<http://cienciahoje.uol.com.br/noticias/quimica/bananas-para-despoluir-o-ambiente>>. Acesso em: 12 maio 2014.

FIORAVANÇO, J. C. **Mercado Mundial da Banana**: produção, comércio e participação brasileira. *Informações Econômicas*, SP, v.33, n.10, p 15-27. out. 2003. Disponível em: <<http://www.iea.sp.gov.br/OUT/publicacoes/pdf/tec2-1003.pdf>>. Acesso em 10 jun 2013.

FIORENTIN, L. D.; TRIGUEROSA, D. E. G.; MÓDENESB, A. N.; ESPISONA, Q., FERNANDO, R.; PEREIRA, N. S. C.; BARROS, S. T. D.; SANTOS, O. A. A. Biosorption of reactive blue 5G dye onto drying orange bagasse in batch system: Kinetic and equilibrium modeling. **Chemical Engineering Journal**, v. 163, p. 68-77, 2010.

FRANCO JR, M. R. R.; NATÁCIA, R. A. F. R.; ARLEY, S. Redução do teor de prata e chumbo de águas contaminadas através do uso de material adsorvente. **Revista Ciências do Ambiente on-line**, v.8, n 1, p. 1-6. 2012. Disponível em: <<http://sistemas.ib.unicamp.br/be310/index.php/be310/article/viewFile/305/236>>. Acesso em: 9 ago 2014.

GERMANI, D. J. **Carvão brasileiro** – produção e potencialidade. set 2010. Disponível em: <<http://www.inthemine.com.br/mineblog>>. Acesso em: 14 de maio 2014.

GONÇALVES, M. et al. Produção de carvão a partir de resíduo de erva-mate para a remoção de contaminantes orgânicos de meio aquoso. **Revista Ciência Agrotécnica**. v. 31, n. 5, p.1386-1391, set/out 2007.

GUARDABASSI, P. M. **Sustentabilidade da biomassa como fonte de energia:** perspectivas para países em desenvolvimento. 2006. Dissertação (Mestrado em Energia). Universidade de São Paulo, São Paulo. 132p, 2006.

HAMEED, B. H.; DIN, A. T. M.; AHMAD, A. L. Adsorption of methylene blue onto bamboo based activated carbon: kinetics and equilibrium studies. **Journal of Hazardous Materials**. n. 141. p. 819-825. 2007.

JERONIMO, C. E. M.; COELHO, M. S. Sensibilidade do estudo de viabilidade técnico-econômica de uma agroindústria de processamento de coco. **Revista Economia e Desenvolvimento**, v. 1, n. 24, p. , 2012.

JUVILLAR, J. B. Tecnologias da transformação da madeira em carvão vegetal. CETEC – Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais. In: PENEDO, W.R. **Uso da madeira para fins energéticos**, 1v. 158p. Belo Horizonte. (Série Publicações Técnicas, 1), 1980.

KHALED, A.; NEMR, A. E.; SIKAILY, A. E.; ABDELWAHAB, O. Removal of Direct N Blue-106 from Artificial Textile Dye Effluent using Activated Carbon from Orange Peel: Adsorption Isotherm and Kinetic Studies. **Journal of Hazardous Materials**, n.165, p.100–110. 2009.

LEITE, R. H. de L. et al. Avaliação da qualidade físico-química de polpas de frutas congeladas na cidade de Mossoró-RN. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 9, n. 2, p. 248-255, 2014.

LEITE, G. et al. Qualidade pós-colheita da banana 'pacovan' comercializada em diferentes estabelecimentos no município de Mossoró-RN. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 5, n. 3, p. 322-327, jul-set 2010. Disponível em: <[http:// www. agraria.pro.br/sistema/index.php](http://www.agraria.pro.br/sistema/index.php)>. Acesso em: 12 ago 2013.

LIMA, R. B. **Processo para a produção de carvão ativo a partir do subproduto resultante da lixívia alcalina da cinza da casca do arroz**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 111p. 2010. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/94292/290725.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 7 maio 2013.

LOUREIRO, L. F. **Avaliação da Adsorção do Herbicida 2,4-D em Carvão Ativado em Pó e Granular por Meio de Análises de Isotermas de Adsorção Utilizando Diferentes Qualidades de Água**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) Universidade Federal do Espírito Santo – Vitória. 128p. 2012. Disponível em: <[http://www.ct.ufes.br/ppgea/files/Disserta%C3%A7%C3%A3o\\_Lorena\\_Frasson\\_Loureiro.pdf](http://www.ct.ufes.br/ppgea/files/Disserta%C3%A7%C3%A3o_Lorena_Frasson_Loureiro.pdf)>. Acesso em 6 mar 2013.

MACEDO, L. P. M. de. **Viabilidade da produção de carvão ativado a partir de resíduos alternativos**. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento de Processos Ambientais). Universidade Católica de Pernambuco, Recife. 92p. 2012.

MACIEL, C. **Casca de banana pode descontaminar águas poluídas**. A crítica.com. São Paulo, 22 abr 2013. Disponível e: [http://acritica.uol.com.br/noticias/casca-descontaminar-pesticida-pesquisa-USP\\_0\\_905909441.html](http://acritica.uol.com.br/noticias/casca-descontaminar-pesticida-pesquisa-USP_0_905909441.html). Acesso em 15 jan 2015.

MALIK, P. K. Use of Activated Carbons Prepared from Sawdust and Rice-husk for Adsorption of Acid Dyes: a Case Study of Acid Yellow 36. **Dyes and Pigments**, n. 56, p.239–249. 2003.

MANGUEIRA, E. S V. **Produção de carvão ativado de endocarpo de coco da baía aplicado ao processo de adsorção do herbicida metribuzin**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana e Ambiental) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 103p. 2014.

MINISTÉRIO DO PLANEJAMENTO, ORÇAMENTO E GESTÃO. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção agrícola municipal 2010**. Rio de Janeiro, 2011. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/pesquisas>>. Acesso em: 23 mar 2013.

MOHAMMADI, S. Z. et al. Removal of Pb (II) from aqueous solutions using activated carbon from Sea-buckthorn stones by chemical activation. **Desalination**, v. 262, p. 86-93. 2010.

MOLINA-SABIO, M.; RODRIGUEZ-REINOSO, F.; CATURLA, F.; SELLES, M. J. Porosity in granular carbons activated with phosphoric acid. **Carbon**, v.33, p.1105-1113, 1995.

MONÇÃO et al. Caracterização físico-química da casca de banana tratada com óxido de cálcio. Dourados, **Revista Agrarian.**, v.7, n.24, p.339-347, 2014.

NAMASIVAYAM, C.; KAVITHA, D. Removal of Congo Red from Water by Adsorption onto Activated Carbon Prepared from Coir Pith, an Agricultural Solid Waste. **Dyes and Pigments**, n. 54, p.47–58, 2003.

NEVES, E.M. Economia da Produção Citrícola e Efeitos Alocativos. **Preços Agrícolas**, Piracicaba, v. 14, n. 162, p.9-12, 2000. Disponível em: <<http://www.scielo.br/scielo.php>>. Acesso em 28 maio 2014.

NIEDERSBERG, C. **Ensaio de adsorção com carvão ativado produzido a partir da casca do tungue (*Aleurites fordii*), resíduo do processo de produção de óleo**. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental) – Universidade de Santa Cruz do Sul, Santa Catarina. 65p. 2012.

NUNES, D. L. **Preparação de carvão ativado a partir de torta prensada de *Raphanus sativus L.* e utilização para clarificação de soluções**. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 117p. 2012.

NUNES, M. U. C.; SANTOS, J. R.; SANTOS, CLAITON T. **Tecnologia para biodegradação da casca de coco seco e de outros resíduos do coqueiro.** (Circular técnica, 46). Sergipe, 2007. Disponível em: <<http://www.cpatc.embrapa.br>>. Acesso em: 18 mar 2014.

OLIVEIRA, L. S.; FRANÇA, A. S. Conventional and Non-Conventional Thermal Processing for the Production of Activated Carbons from Agro-Industrial Waster. In: KWIATKOWSKI, James F. (Org.). **Activated Carbon: Classifications, Properties and applications**, cap. 3. New York: New Publishers, p. 205-238. 2011.

OLIVEIRA, I. P. de; CARVALHO OLIVEIRA, L; MOURA, C. S. F. T. de. Frutas cítricas. **Revista Faculdade Montes Belos**, v. 5, n. 4, Agosto 2012. Disponível em <<file:///C:/Users/VALMIR/Downloads/67-259-1-PB.pdf>>. Acesso em: 3 set 2014.

PACHECO-DELAHAYE, E.; TESTA, G. Evaluación nutricional, física y sensorial de panes de trigo y plátano verde. Santiago, **Interciencia**, v. 30, n. 5, p. 300-304, 2005.

PASSOS, O. S. et al. **Cultura dos citros**. Brasília, DF: Embrapa. 1. ed., v. 1, p. 399, 2013.

PATRICK, J. W. **Porosity and applications**. New York: John Wiley & Sons, 1995.

PEREIRA, R. C. **Síntese de carvões ativados a partir de resíduos agroindustriais e sua aplicação na adsorção de proteínas do soro do leite.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos). Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Salvador. 66p. 2012.

PEREIRA, F. A. V. **Impregnação de carvão ativado para remoção de enxofre do óleo diesel por adsorção.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 165p. 2011.

PORPINO, K. K. P. **Biossorção de Ferro (II) por casca de caranguejo *Ucides cordatus*.** Dissertação (Mestrado em Química). Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa. 93p. 2009.

ROCHA, O. R. S. et al. Avaliação do processo adsorptivo utilizando mesocarpo de coco verde para remoção do corante cinza reativo BF-2R. **Revista Química Nova**. v. 35. p. 1369-1374. 2006.

ROSA M.F. et al. Valorização de resíduos da agroindústria. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS AGROPECUÁRIOS E AGROINDUSTRIAIS – II SIGERA, 2, v. 1. **Palestras...** Foz do Iguaçu, PR. 2011.

ROSSO, S. R. **Aproveitamento do resíduo da agroindústria da banana: caracterização química e levantamento de parâmetros termodinâmicos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Federal de Santa Catarina, 170f. 2009. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/92351/266281.pdf>>. Acesso em: 7 ago 2013.

SANTANA, G. M. **Resíduos de bambu (*Bambusa vulgaris* Schard.) para produção de carvão ativado**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 72p. 2014.

SANTOS, S. F. O. M.; HATAKEYAMA, K. **Processo sustentável de produção de carvão vegetal quanto aos aspectos: ambiental, econômico, social e cultural**. v. 22, n. 2, p. 309-321, mar./abr. 2012. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-5132012000200011&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-5132012000200011&script=sci_arttext)>. Acesso em: 24 nov 2014.

SCHETTINO Jr., M. A. et al. Preparação e caracterização de carvão ativado quimicamente a partir da casca de arroz. **Revista Química Nova**. v. 30, n. 7, p. 1663-1668, 2004.

SILVA, G. O., JERÔNIMO, C. E. Estudo de alternativas para o aproveitamento de resíduos sólidos da industrialização do coco. **Revista Remoa** v.10, n. 10, p. 2193 – 2208, out-dez 2012.

SIQUEIRA, L. A.; ARAGÃO, W. M.; TUPINAMBÁ, E. A. **A introdução do coqueiro no Brasil**: importância histórica e agrônômica. Aracaju: EMBRAPA – Tabuleiros Costeiros, 2002, 24p. (Documentos, 47). Disponível em: <[www.cpatc.embrapa.br/download/Documentos47.doc](http://www.cpatc.embrapa.br/download/Documentos47.doc)>. Acesso em 24 abr. 2013.

SOUZA, G. S. et al. Educação ambiental como ferramenta para o manejo de resíduo sólidos no cotidiano escolar. Rio Grande, **Revbea**, v. 8, n. 2, p.118-130, 2013.

SOUZA, O. et al. Biodegradação de resíduos lignocelulósicos gerados na bananicultura e sua valorização para a produção de biogás. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.4, p.438-443, 2010.

SOUZA, O. et al. Produção de biogás a partir de resíduo agrícola da bananicultura. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS AGROPECUÁRIOS E AGROINDUSTRIAIS, 3, 12 a 14 de março de 2013, São Pedro/SP. **Anais...** Disponível em: <[http://www.sbera.org.br/3\\_sigera/obras/in\\_pro\\_01\\_OzairSouza.PDF](http://www.sbera.org.br/3_sigera/obras/in_pro_01_OzairSouza.PDF)>. Acesso em: 13 out 2014.

TAN, I. A. W.; HAMEED, B. H.; AHMAD, A. L. Equilibrium and Kinetic Studies on Basic Dye Adsorption by Oil Palm Fibre Activated Carbon. **Chemical Engineering Journal**, n. 127, p.111–119, 2007.

TAVARES, V. Exportações aumentam 4 % e Brasil fecha 2013 como 3º produtor mundial de frutas. **Notícias/Agronegócio**. Disponível em: <<http://www.olhardireto.com.br/agro/noticias>>. Acesso em: 29 maio 2014.

VIEIRA, L. M. Brasil é o terceiro maior produtor de banana. **Revista Campo & Negócios**. Jan 2014. Disponível em <<http://www.revistacampoenegocios.com.br/brasil-e-o-terceiro-maior-produtor-de-banana/>>. Acesso em: fev 2015.

VILAS BOAS, E. V. et al. Características da fruta. Banana: Pós-Colheita. Brasília: **Embrapa Informação Tecnológica**, 71p. 2001.

ZANG, Z. et al. Adsorption isotherms and kinetics of methylene blue on a low-cost adsorbent recovered from a spent catalyst of vinyl acetate synthesis. **Applied Surface Science**, n. 256, p. 2569-2576, 2010.

# CAPÍTULO II

(Artigo submetido à **Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira-PAB**,

ISSN 0100-204X)

**Produção de carvão ativado a partir de resíduos agroindustriais e sua aplicação  
como elemento adsorvente**

Valmir Rocha Cavalcante<sup>(1)</sup>; Ricardo Vandr  Tr tski Oliveira Silva<sup>(2)</sup> e Arminda

Saconi Messias<sup>(3)</sup>

<sup>(1,2)</sup>Universidade Católica de Pernambuco, UNICAP, Mestrado em Desenvolvimento de Processos Ambientais - MDPA, Rua do Príncipe, 526 – Boa Vista, Bloco D, 1<sup>o</sup> andar. CEP = 50050-900 – Recife – Pernambuco – Brasil. E-mail: valmir@unicap.br, vandretrotski@gmail.com. <sup>(3)</sup>Prof  Dra do Curso de Engenharia Ambiental e do MDPA, UNICAP. E-mail: saconi@unicap.br.

**Resumo** – O objetivo deste trabalho foi a produ o de carvão a partir de resíduos da fibra de coco seco, da casca de banana e da casca de laranja, ativado quimicamente com o cloreto de zinco, visando o aproveitamento dos resíduos e contribuindo para que os mesmos não sejam descartados incorretamente. Os resíduos foram coletados, preparados e impregnados com ZnCl<sub>2</sub>, ativados quimicamente e testados na sua eficiência com amostra de água do rio Capibaribe, Recife, Pernambuco. Os resultados obtidos foram um carvão ativado com massa de carbono fixo em todas as amostras (coco/banana = 25/75), (coco/banana = 75/25), (coco/laranja = 75/25), apresentando eficiência na modifica o dos valores de pH, CE e turbidez da  gua.

Termos para indexa o: Turbidez, adsor o, porosidade, ativa o química.

## **Production of activated carbon from waste and its application as adsorbent element**

**Abstract** – The aim of this work was the production of charcoal from waste dried coconut fiber, the banana peel and orange peel, chemically activated with zinc chloride, aiming at the recovery of waste and contributing so that they are not disposed of incorrectly. The waste was collected, prepared and impregnated with  $ZnCl_2$ , chemically activated and tested for efficiency with water sample of the Capibaribe River, Recife, Pernambuco. The results were an activated carbon with carbon mass fixed in all samples (coconut/banana = 25/75), (coconut/banana = 75/25), (coconut/orange = 75/25), showing efficiency in the reduction of pH, EC values and turbidity of the water.

Index terms: Turbidity, adsorption, porosity, chemical activation.

### **Introdução**

O Brasil é o terceiro maior produtor mundial de frutas, atrás apenas da Índia e da China. A laranja e a banana representam quase 60% do volume total de frutas produzidas no Brasil (AGRIANUAL, 2014). Com uma colheita que excede 40 milhões de toneladas anuais. Com um alto consumo interno, muito especialmente pela melhora da renda dos brasileiros, o País tem se destacado também nas crescentes exportações (ANUÁRIO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 2013).

Segundo a FAO (2013), a banana é a fruta mais cultivada no mundo, sendo em muitos países responsável pela arrecadação e geração de emprego para expressiva parte da população. A fruta é rica em carboidratos, vitaminas e minerais e é considerado, por nutricionistas, um alimento importante em todas as idades. No Brasil, a banana possui forte aceitação e sua produção é destinada quase que totalmente ao consumo interno.

A Região Nordeste é a maior produtora brasileira de banana, destacando-se os

estados da Bahia, Ceará, Pernambuco e Rio Grande do Norte. Em Pernambuco, a banana é cultivada em todas as microrregiões, ocupando cerca de 80 mil postos de trabalho permanente no campo (ALMEIDA, 2011).

A laranja é uma fruta muito cultivada no Brasil e se espalhou pelo território brasileiro, sofrendo mutações e dando origem a novas variedades. Sendo consumida *in natura*, em forma de ingredientes de diversos pratos da culinária brasileira ou em formas de sucos. Além de ser uma fruta saborosa, a laranja possui propriedades calmantes e antidepressivas, além de possuir óleos essenciais em sua casca que geralmente são utilizados em perfumes, cosméticos e em produtos de limpeza (FIORENTIN et al., 2010; FRANCO JR., 2012; PASSOS et al., 2013; FAO, 2014). Segundo Neves (2000), o Brasil tornou-se, a partir da década de 80, o maior produtor mundial de laranja.

A produção brasileira de citros está concentrada nas regiões Sudeste e Nordeste. Segundo Almeida (2011), a produção de citros também se destaca em outras áreas específicas da região Nordeste, especialmente localizadas nos estados de Alagoas, Ceará e Pernambuco.

Segundo Alves (2012), o carvão ativado tem a capacidade de coletar seletivamente gases, líquidos e impurezas no interior dos seus poros, sendo por isso vastamente utilizado em sistemas de filtragem. Porém, é importante ressaltar que o potencial do carvão é limitado. Um filtro de carvão ativado deixa de ser eficiente se todos os poros de sua estrutura estiverem preenchidos. A área de aderência comprometida faz com que as impurezas não se fixem ao carvão.

Segundo Kunz et al. (2002), as técnicas de tratamento fundamentais em processos de coagulação, seguidos de separação por flotação ou sedimentação, apresentam elevada eficiência na remoção de material particulado em água. No entanto, a remoção de cor e de compostos orgânicos dissolvidos é ineficiente com tais técnicas, sendo os processos de adsorção, por carvão ativado, mais eficiente.

Os processos de adsorção, que envolvem a transferência de massa de uma fase fluida para a superfície de um sólido, vêm sendo amplamente estudados por apresentar elevada eficiência e por serem economicamente viáveis no tratamento de efluentes têxteis. A utilização de materiais de baixo custo na fabricação do carvão ativado é uma alternativa para a utilização de rejeitos industriais alimentícios, que normalmente são descartados e acabam perdendo seu valor (JUCHEN et al., 2013).

O desafio é produzir o carvão ativado com as características dos carvões já industrializados comercialmente, ou seja, que apresente área superficial elevada, diversidade de poros e valor agregado, que justifique a pesquisa e a necessidade de uma melhor compreensão e práticas ambientalmente corretas. Atualmente, o material que apresenta maior capacidade de adsorção, sendo amplamente utilizado para o tratamento de água e efluentes, é o carvão ativado. Entretanto, devido às perdas durante o processo de recuperação do adsorvente, sua utilização torna-se, muitas vezes, onerosa. Nesse sentido, existe um crescente interesse na busca de materiais alternativos de baixo custo que possam ser utilizados na produção de carvão ativado (GONÇALVES et al., 2007; AUTA; HAMEED, 2011).

Portanto, o objetivo desse trabalho foi produzir carvão ativado a partir de resíduos do coco, da banana e da laranja, a fim de contribuir para a preservação do ambiente com a diminuição de até 98% de possíveis agentes poluidores.

### **Material e Métodos**

Os resíduos da casca de coco (*Cocos nucifera*) secas foram coletados nos próprios locais de venda de água de coco, descartando-se aquelas de coloração marrom, porque apresentam maior dificuldade para serem processadas. Os resíduos de laranja (*Citrus sinensis*) e banana (*Musa sp*) foram adquiridos nas indústrias de processamento de polpas e sucos.

Após coleta e seleção, os resíduos (coco, laranja e banana) foram submetidos à

exposição solar por alguns dias até a secagem; em seguida foi realizada a moagem em moinho de facas, no Instituto Agrônomo de Pernambuco – IPA, depois passado em peneira de 14 mesh para obter homogeneidade no diâmetro das partículas. Logo após, foram usadas as doses (misturas) dos resíduos conforme Macedo (2012), a saber: coco/banana (60-65cal/g; 50-55cal/g) = 25/75 e 75/25 e coco/laranja (40-45cal/g) = 75/25.

As amostras (cinco repetições), foram colocadas em cadinho de porcelana e submetidas ao processo de carbonização em forno mufla (modelo LF00613) à atmosfera inerte, por 1 hora, a 550°C, com taxa de aquecimento de 15°C min<sup>-1</sup>, com fluxo de gás nitrogênio numa vazão de 100mL min<sup>-1</sup>. Após a carbonização as amostras foram submetidas à lavagem com uma solução de ácido clorídrico a 50 %, até atingir o pH próximo de 7.

Logo após essa etapa, cada 10 g da amostra recebeu 10 g de cloreto de zinco para impregnação, na relação 1:1(ZnCl<sub>2</sub>: resíduo), em seguida colocado na estufa a 100°C por 24 horas (RAMOS et al., 2009). Neste processo ocorrem reações entre a matéria-prima e o agente de ativação modificando a estrutura do material. Os procedimentos de lavagem do resíduo, ativação química e carbonização foram estabelecidos com base em HAYASHI et al. (2000), ROCHA et al. (2012), GONÇALVES et al. (2007) e DENG et al. (2011), que produziram carvão a partir de resíduos vegetais.

O material assim preparado passou a ser denominado Carvão Ativado de Banana (CAB) e Carvão Ativado de Laranja (CAL).

1. Coco (25) /Banana (75) – 5 amostras (C25B75);
2. Coco (75) /Banana (25) – 5 amostras (C75B25);
3. Coco (75) /Laranja (25) – 5 amostras (C75L25).

Para a avaliação da eficiência do carvão ativado, foi produzido um experimento Jar Test (Teste do Jarro) com cinco repetições, utilizando-se 300 mg de carvão ativado por litro

de água coletada no Rio Capibaribe, município de Recife, estado de Pernambuco, Brasil, com as seguintes características: pH = 7,14; turbidez = 10,64 UNT; condutividade elétrica – CE = 8032  $\mu$ S/cm. A mistura ocorreu em dois tempos seguidos T<sub>1</sub> e T<sub>2</sub>. No T<sub>1</sub> a rotação utilizada foi de 150 rpm, durante 15 segundos; e na T<sub>2</sub> a rotação foi de 25 rpm durante 15 minutos. Após 15 horas de repouso, foram retirados 500 mL da água sobrenadante para determinação química. Para efeito de comparação da eficiência do carvão ativado utilizou-se 3,0 mL de sulfato de alumínio por litro de água (usado nas Estações de Tratamento de Água – ETA's), nas mesmas condições experimentais dos resíduos.

As determinações realizadas foram de pH, turbidez e condutividade elétrica, utilizando-se os métodos ASTM D1293 – 12, ASTM D6698 – 14, ASTM D1125-14 respectivamente. Os dados obtidos para pH, turbidez e condutividade elétrica foram submetidos à análise estatística, gerando gráficos tipo Box Plot usando o software Statistic, versão 7.0 (OLIGARI; PACHECO, 2004).

### **Resultados e Discussão**

As Figuras 1 a 3 representam os gráficos obtidos para pH, turbidez e condutividade elétrica – CE, respectivamente, para coco/banana nas doses equivalentes a 25/75, 75/25 e coco/laranja na dose correspondente a 75/25, em comparação com o valor padrão do sulfato de alumínio, para a amostra de água do rio Capibaribe, Recife, Pernambuco.

Através da Figura 1, observa-se que o carvão ativado produzido com a mistura 75C25L (tratamento 5) apresentou valor médio mais aceitável entre os tratamentos utilizados no experimento, inclusive podendo substituir o sulfato de alumínio nas estações de tratamento de água. Os valores de pH próximos a neutralidade se enquadram na faixa recomendada pela resolução 357/2005 do CONAMA e pela Portaria MS 2914/2011 (6,0 a 9,5). Na faixa de pH

entre 6,5 e 7,5 para Oliveira (2014), o que pode causar a elevação do pH é a presença de grupos funcionais na superfície do carvão ativado interagindo com os constituintes da água. No entanto, para Ferreira Filho e Marchetto (2006), valores de pH inferior a 5,8 causa interferência na remoção da turbidez.

O valor encontrado para a turbidez na água do rio Capibaribe foi de 10,64 UNT (Figura 2). Segundo Guimarães, Carvalho e Silva (2007), numa água onde o valor de turbidez seja inferior a 20 UNT podem ser dirigidas diretamente para a filtração lenta, dispensando a coagulação química (com o sulfato de alumínio). Conforme pode ser observado na Figura 2 a baixa turbidez dos tratamentos 3, 4 e 5 mostra a boa performance do carvão produzido. Ainda pela mesma Figura 2 verifica-se uma possível solução econômica quando se compara os resultados com o valor da turbidez do sulfato de alumínio, comprovando que a água tratada com o CA produzido principalmente com o resíduo de laranja baixa o conteúdo de partículas suspensas em seu meio, até 98,4 %. Segundo as pesquisas de Selhorst Filho et al. (2011), conseguiram uma eficiência de 85 % na remoção da turbidez da água bruta.

Na Figura 3, apesar da CE não ser um parâmetro controlado pela legislação, é de importância para a caracterização de um corpo d'água. Esta medida pode ser relacionada com a concentração de sólidos dissolvidos totais o que facilita na avaliação do corpo hídrico, pois é uma medida direta. Segundo Libânio (2010), águas naturais possuem valores inferiores a  $100 \mu\text{S}/\text{cm}^2$ , podendo atingir até  $1000 \mu\text{S}/\text{cm}$  quando ocorre o lançamento de efluentes domésticos e industriais. Valores abaixo de  $100 \mu\text{S}/\text{cm}$  indicam águas desmineralizadas com baixíssima concentração de sais dissolvidos, podendo ser consideradas leves (MOREIRA, 2005). Dessa forma, percebe-se pelos resultados do parâmetro condutividade elétrica encontrados (Figura 3), estão muito acima deste valor, mesmo após o uso do carvão ativado

dos resíduos de banana e laranja. Mierzwa et al. (2008), chegou a uma eficiência de 5,6 % na CE. Em águas naturais os valores de condutividade se apresentam na faixa de 10 a 100  $\mu\text{S}/\text{cm}$  e, em ambientes poluídos por esgoto doméstico ou industrial, os valores de condutividade podem chegar a 1.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (BRIGANTE et al., 2003). No entanto, os valores Figura 3 mostra um rio bastante impactado. Pode-se inferir o uso da dose C75L25 (coco:laranja) como a mais significativa entre os tratamentos que podem substituir o sulfato de alumínio.

### **Conclusões**

De acordo com os dados obtidos no experimento pode-se concluir que:

1. O CA produzido com resíduo de laranja foi eficiente na remoção da turbidez em 98,4 %.
2. O carvão ativado resultante dos resíduos de banana e laranja provocou diminuição do pH e CE.
3. Todos os resíduos utilizados possuem potencial para substituir o sulfato de alumínio nas estações de tratamento de água.

### **Agradecimentos**

À Profa Dra Armindia Saconi Messias, não apenas pelo trabalho de orientação, mas principalmente, por sua competência, exemplo e convívio que a pesquisa nos trouxe e que muito me engrandeceram.

Ao Prof. MSc. Sérgio Carvalho Paiva, que de forma imparcial sempre se mostrou solícito às nossas necessidades, quando das práticas no Laboratório de Química Analítica, assim como toda equipe do laboratório.

## Referências

ALMEIDA, C. O. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Embrapa Mandioca e Fruticultura Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Citricultura brasileira em busca de novos rumos**. Desafios e oportunidades na região Nordeste. 2011. Disponível em: <[http://livraria.sct.embrapa.br/liv\\_resumos/pdf/000\\_83440.pdf](http://livraria.sct.embrapa.br/liv_resumos/pdf/000_83440.pdf)>. Acesso em: 17 maio 2014.

ALVES, L. **Equipe Brasil Escola**. Disponível em: <[www.brasilecola.com/quimica/carvao-ativado](http://www.brasilecola.com/quimica/carvao-ativado)>. Acesso em: 17 jul. 2012.

ANUÁRIO BRASILEIRO DA FRUTICULTURA, Santa Cruz do Sul: **Gazeta Santa Cruz**, p. 136, 2013.

AUTA, M.; HAMEED, B. H. Preparation of waste tea activated carbon using potassium acetate as an activating agent for adsorption of Acid Blue 25 dye. **Chemical Engineering Journal**. v. 171, p. 502-509, 2011.

BRIGANTE, J.; ESPINDOLA, E. L. G. **Limnologia fluvial**: Um estudo no Rio Mogi Guaçu. São Carlos: RiMa. 255p. 2003.

DENG, H. LU, J.; LI, G.; ZHANG, G.; WANG, X. **Adsorption of methylene blue on adsorbent materials produced from cotton stalk**. Chemical Engineering Journal, v. 172, p. 326-334, 2011.

FAO. **FAOSTAT**. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/site/567/default.aspx#ancor>>.

Acesso em: 10 maio 2014.

FERREIRA FILHO, S.S.; MARCHETTO, M.. Otimização multi-objetivo de estações de tratamento de águas de abastecimento: remoção de turbidez, carbono orgânico total e gosto e odor. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental on-line**. v.11, n.1, p. 7-15. 2006.

FIORENTIN, L. D.; TRIGUEROSA, D. E. G.; MÓDENESB, A. N.; ESPISONA, Q., FERNANDO, R.; PEREIRA, N. S. C.; BARROS, S. T. D.; SANTOS, O. A A. A. Biosorption of reactive blue 5G dye onto drying orange bagasse in batch system: Kinetic and equilibrium modeling. **Chemical Engineering Journal**, v. 163, p. 68-77, 2010.

FRANCO JR, M. R.; ROCHA, N. R. A. F.; ROSSI, A. S. Redução do teor de prata e chumbo de águas contaminadas através do uso de material adsorvente. **Revista Ciências do Ambiente on-line**, v.8, 2012.

GONÇALVES, M.; GUERREIRO, M. C.; BIANCHI, M. L.; OLIVEIRA, L. C. A.; PEREIRA; D. R. M. Produção de carvão a partir de resíduo de erva-mate para a remoção de contaminantes orgânicos de meio aquoso. **Revista Ciência Agrotécnica**. v. 31, n. 5, p.1386-1391, set/out 2007.

HAYASHI, J.; KAZEHAYA, A.; MUROYAMA K.; WATKINSON, A. P.. Preparation of activated carbon from lignin by chemical activation. **Carbon**. v. 38, p. 1873-1878. 2000.

JUCHEN, P. T.; GOBI, F. P.; HONORIO, J. F.; VEIT, M. T.; GONÇALVES, G. C; KLEN M. R. F. . Aplicação do palito de erva-mate como adsorvente no processo de adsorção de corante azul de metileno. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Centro de Engenharias e Ciências Exatas. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Processos Químicos, **Anais do V SEQ**, Simpósio de Engenharia Química, Maringá – PR, 2013.

KUNZ, A.; ZAMORA, P. P.; MORAES, S. G. de; DURÁN, N. Novas tendências no tratamento de efluentes têxteis. **Química Nova**, São Paulo, v.25, n.1, 78-82, 2002.

LIBANIO, M. **Fundamentos de Qualidade e Tratamento de Água**. 3 ed. Campinas, SP, p. 30 - 42, 2010.

MACEDO, L. P. M. de. **Viabilidade da produção de carvão ativado a partir de resíduos alternativos**. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento de Processos Ambientais). Universidade Católica de Pernambuco, Recife. 92p. 2012.

MIERZWA, J. C.; SILVA, M. C. da; RODRIGUES, L. DI B.; HESPANHOL, I. Tratamento de água para abastecimento público por ultrafiltração: avaliação comparativa através dos custos diretos de implantação e operação com os sistemas convencional e convencional com carvão ativado. **Revista Engenharia Sanitária Ambiental**. v.13, n. 1, p. 78-87, 2008.

MOREIRA, C. M. D. **Aspectos qualitativos da água subterrânea no Campus da UFSM**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 138f. 2005.

NEVES, E.M. Economia da Produção Citrícola e Efeitos Alocativos. **Preços Agrícolas**, Piracicaba, v. 14, n. 162, p. 9-12, 2000. Disponível em: <<http://www.scielo.br/scielo.php>>. Acesso em 28 maio 2014.

OLEGARI, P. J.; PACHECO, J. A. **Análise estatística usando o Statistica 6.0**. Departamento de Informática e Estatística do Centro de Tecnologia da UFSC, Florianópolis, 2004.

OLIVEIRA, L. S.; FRANÇA, A. S. Conventional and Non-Conventional Thermal Processing for the Production of Activated Carbons from Agro-Industrial Waster. In: KWIATKOWSKI, James F. (Org.). **Activated Carbon: Classifications, Properties and applications**, cap. 3. New York: New Publishers, p. 205-238. 2011.

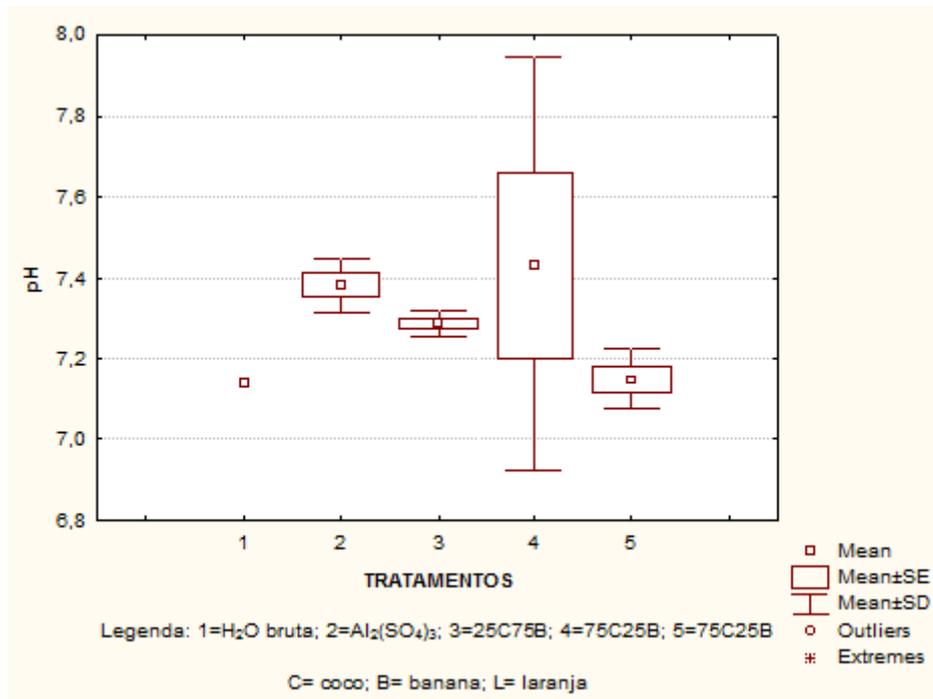
ROCHA, O. R. S. da.; NASCIMENTO, G. E. do, CAMPOS, N. F. ; SILVA, V. L. da; DUARTE, M. M. M. B. Avaliação do processo adsortivo utilizando mesocarpo de coco verde para remoção do corante cinza reativo bf-2r. **Revista Química Nova**, v. 35, n. 7, p.1369-1374, 2012.

SELHORST FILHO, O.; WIECHETECK, G. K.; ANDRADE FILHO, A. G. de. DÖLL.; RIBAS, M. M.. Otimização de parâmetros de clarificação de água do sistema de tratamento de Ponta Grossa (PR). **Revista de Engenharia e Tecnologia on-line**. v.3, n. 2, p. 35-46. 2011.

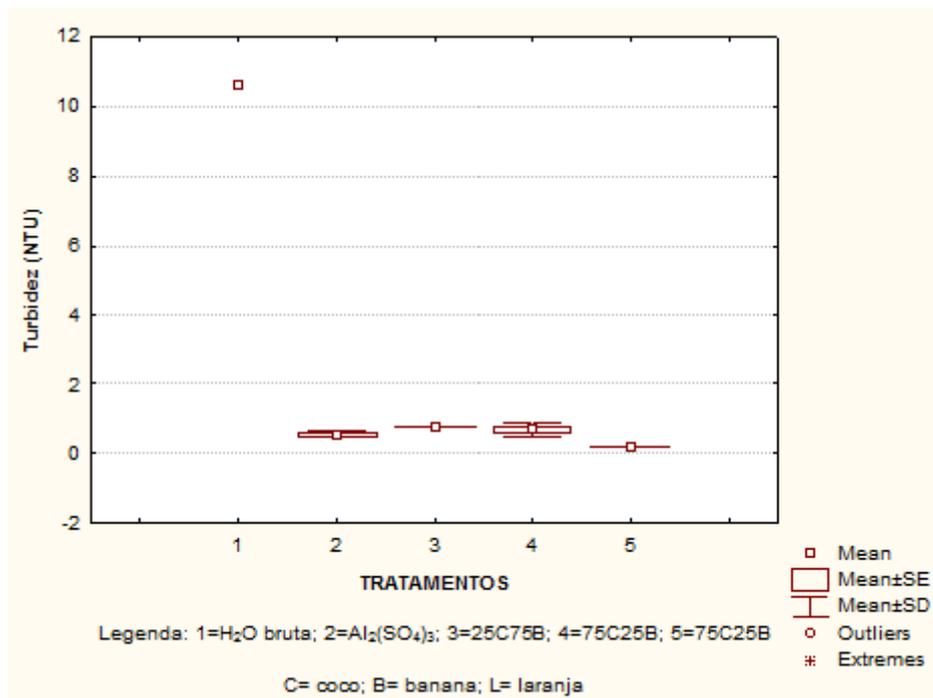
SILVA, L. D. B; GUIMARÃES, A. J. A.; CARVALHO D. F. **Notas de Aula**. 2007.

### Figuras

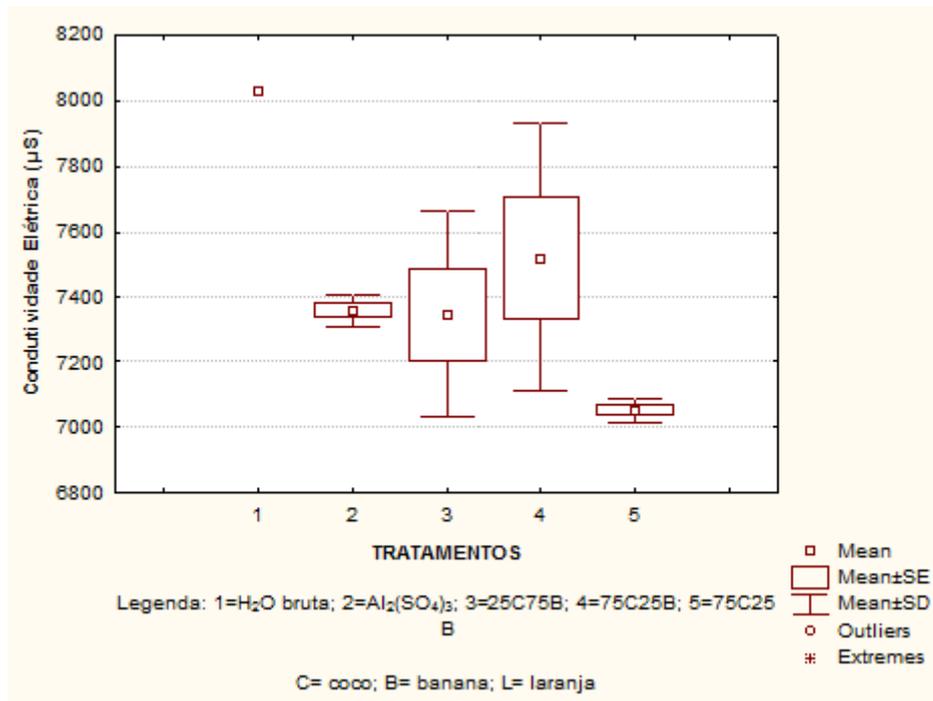
**Figura 1.** Valores de pH para os tratamentos utilizados



**Figura 2.** Valores de turbidez para os tratamentos utilizados



**Figura 3.** Valores de CE para os tratamentos utilizados



## **CAPÍTULO III**

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Baseado na revisão de literatura realizada para o desenvolvimento deste trabalho percebe-se que se trata de uma nova oportunidade de utilizar resíduos que, provavelmente, seriam descartados sem tratamento prévio e em local inadequado, contribuindo para a poluição do ambiente.

Assim, os resultados obtidos com banana e laranja misturados com pó de coco são promissores para a minimização de turbidez em água, podendo, inclusive substituir o sulfato de alumínio nas ETA's.

Porém, há necessidade de se realizar outras determinações químicas e microbiológicas para se concluir efetivamente a eficácia do carvão ativado.

## ANEXOS

A1- Dados obtidos para as determinações das amostras de água tratada com o carvão ativado (cinco repetições)

<b>Amostra</b>	<b>pH</b>	<b>Turbidez (UNT)</b>	<b>CE (<math>\mu\text{S/cm}</math>)</b>
C25B75	A – 7,28	A – 0,78	A – 7370
	B – 7,26	B – 0,78	B – 7180
	C – 7,27	C – 0,78	C – 7190
	D – 7,30	D – 0,78	D – 7890
	E – 7,34	E – 0,78	E – 7110
C75B25	A – 6,93	A – 0,78	A – 7010
	B – 7,07	B – 0,47	B – 7879
	C – 7,91	C – 0,78	C – 7096
	D – 8,05	D – 0,94	D – 7932
	E – 7,21	E – 0,47	E – 7091
C75L25	A – 7,03	A – 0,17	A – 7059
	B – 7,19	B – 0,17	B – 7059
	C – 7,21	C – 0,17	C – 7042
	D – 7,12	D – 0,17	D – 7000
	E – 7,20	E – 0,17	E – 7099
Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	A – 6,99	A - 0,63	A - 7310
	B – 6,95	B - 0,63	B - 7310
	C – 7,09	C - 0,47	C - 7420
	D - 7,01	D - 0,47	D - 7390
	E - 6,96	E - 0,47	E - 7380
H <sub>2</sub> O bruta	7,14	10,64	8032