



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

RICARDO VANDRÉ TRÓTSKI OLIVEIRA SILVA

**RESÍDUOS DE COCO, ACEROLA E CAJU PARA
PRODUÇÃO DE CARVÃO ATIVADO**

Recife, 25 de Fevereiro de 2015

RICARDO VANDRÉ TRÓTSKI OLIVEIRA SILVA

**RESÍDUOS DE COCO, ACEROLA E CAJU PARA
PRODUÇÃO DE CARVÃO ATIVADO**

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

Área de Concentração: Desenvolvimento em Processos Ambientais

Linha de Pesquisa: Biotecnologia e Meio Ambiente

Orientadora: Profa. Dra. Arminda Saconi Messias

Recife, 25 de Fevereiro de 2015

- S586r Silva, Ricardo Vandr  Tr tski Oliveira
Resíduos de coco, acerola e caju para produ o de carvão ativado / Ricardo Vandr  Tr tski Oliveira Silva ; orientador Arminda Saconi Messias, 2015.
62 f. : il.
- Disserta o (Mestrado) - Universidade Católica de Pernambuco.
Pró-reitoria Acad mica. Coordena o Geral de Pós-gradua o. Mestrado em Desenvolvimento de Processos Ambientais, 2015.
1. Resíduos industriais - Reaproveitamento - Brasil. 2. Impacto ambiental - Brasil. 3. Agroindústria. 4. Resíduos sólidos - Reaproveitamento. 5. Resíduos Orgânicos - Reaproveitamento. 6.  gua - Reutiliza o. 7. Capibaribe, Rio (PE). 8. Reaproveitamento (Sobras, refugos, etc.). Carbono ativado. I. Título.

CDU 628.4

Resíduos de coco, acerola e caju para produção de carvão ativado

Ricardo Vandr  Tr tski Oliveira Silva

Examinadores:

Profa. Dra. Arminda Saconi Messias (Orientadora)
Universidade Católica de Pernambuco – UNICAP

Profa Dra Leonie Asfora Sarubbo (Membro Interno)
Universidade Católica de Pernambuco – UNICAP

Prof Dr Emanuel Sampaio Silva (Membro Externo)
Universidade Salgado de Oliveira - UNIVERSO

Dedicatória

À Deus, à minha mãe e meus irmãos, que são presentes da minha vida.

“Senhor, nosso Deus, tu és digno de receber a glória, a honra e o poder. Porque tu criaste todas as coisas. Pela tua vontade elas começaram existir e foram criadas.”
(Apocalipse 4,11)

AGRADECIMENTOS

À Deus, pelas bênçãos, pela vida, saúde, paz e todas as oportunidades.

À minha família, principalmente a minha mãe Maria Guadalupe Freitas, por tudo aquilo que ela me ensinou e por ser minha referência de vida, pela sua coragem e fé. Meus irmãos Catarina de Angola e Samora Machel, pelo companheirismo e motivação. E também a minha namorada Tatiana Cavalcante pelo grande apoio.

À minha professora orientadora Armindia Saconi Messias, pela oportunidade e orientação desse mestrado e tudo de bom que ele me trouxe. E também aos demais professores do corpo docente da Universidade Católica de Pernambuco que contribuíram para a minha formação.

Aos meus amigos que me apoiaram nessa etapa da minha vida e que me fizeram chegar até aqui, Marcos Chaprão, Vanessa Natália, Marcolino Neto, Raelson Salvino. À Valmir Rocha que esteve comigo nesse projeto de mestrado e aos demais amigos da 9ª turma do Mestrado em Desenvolvimento de Processos Ambientais.

À Universidade Católica de Pernambuco e funcionários do Laboratório de Química Analítica do bloco D, Chicó, Pamela, professor Sérgio Paiva e demais colegas.

À todos que contribuíram para a minha caminhada e conclusão dessa dissertação.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	vii
SUMÁRIO	viii
LISTA DE FIGURAS	x
LISTA DE TABELAS	xii
RESUMO	xiii
ABSTRACT	xiv
CAPÍTULO I	
1.1 Introdução	14
1.2 Objetivos	16
1.2.1 Objetivo geral.....	16
1.2.2 Objetivos específicos	16
1.3 Revisão de Literatura	17
1.3.1 Resíduos sólidos	17
1.3.2 Situação das frutas no Brasil	20
1.3.3 Coco (<i>Cocos nucifera</i> L.)	22
1.3.4 Acerola (<i>Malpighia emarginata</i> DC)	24
1.3.5 Caju (<i>Anacardium occidentale</i> L.)	26
1.3.6 Carvão ativado	27
1.3.7 Produção de carvão ativado	29
1.3.7.1 Ativação física	29
1.3.7.2 Ativação química	30
1.3.8 Adsorção	30

1.3.8.1 Porosidade	33
1.3.9 Aplicação do carvão ativado	35
1.4 Referências	37

CAPÍTULO II

Resumo	47
Abstract	48
Introdução	48
Material e Métodos	50
Resultados e Discussão	52
Conclusões	53
Referências	54

CAPÍTULO III

CONSIDERAÇÕES FINAIS	60
ANEXOS	61

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I

Figura 1- Processo de ativação química e remoção do agente ativante.....31

Figura 2 - Esquema apresentando os diferentes tipos de poros em um sólido quanto à forma: (T) poro de transporte, (A) poro aberto, (F) poro fechado e (G) poro tipo gaiola.....35

CAPÍTULO II

Figura 1. Gráfico Box plot de pH x tratamentos.....55

Figura 2. Gráfico do tipo Box Plot turbidez.....56

Figura 3. Gráfico tipo Box Plot da turbidez x tratamentos.....56

Figura 4. Gráfico Box Plot de condutividade elétrica x tratamentos.....57

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I

Tabela 1 - Estimativa da composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos coletados no Brasil em 2008.....	19
Tabela 2 - As frutas mais produzidas no Brasil nos anos 2011 e 2012.....	21
Tabela 3 - Principais países produtores de coco no mundo e estimativa de produção, em milhares de toneladas, entre 2001 e 2010.....	23
Tabela 4 - Precursores de carvão ativado.....	29
Tabela 5 - Adsorventes e suas aplicações.....	33

CAPÍTULO II

Tabela 1. As misturas das amostras foram feitas obedecendo à relação percentual.....	55
--	----

RESUMO

Com o crescimento das atividades industriais e da população, aumentam também a quantidade de resíduos gerados que ocasiona problemas ambientais. No Brasil, produtor de bens na agroindústria, os problemas causados pelo acúmulo e destinação inadequada dos resíduos sólidos é de grande porte. A partir dessa problemática são criados mecanismos que incentivam a reutilização e reciclagem dos resíduos. É buscando desenvolver tecnologia inédita de matérias-primas alternativas que se produziu carvão ativado a partir de resíduos de coco, acerola e caju. Primeiramente coletou-se a fibra-de-coco seco e bagaços/cascas de acerola e do caju 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. Foi produzido carvão ativado com todas as amostras, onde a aplicação na amostra de água coletada no rio Capibaribe (perto do túnel Chico Science), Recife, Pernambuco, apresentou redução da turbidez em 97,3 % usando o tratamento com 25 % de fibra-de-coco + 75 % de caju.

Palavras-chave: Agroindústria. Ativação Química. Adsorção. Reaproveitamento de resíduos.

ABSTRACT

With the growth of industrial activities and population, also increases the amount of generated waste which causes environmental problems. In Brazil, a major producer of goods in the agricultural industry, the problems caused by the accumulation and improper disposal of solid waste are large. From this problematic, mechanisms that encourage the reuse and recycling of waste are created. It is seeking to develop new technology of alternative raw materials that are produced activated carbon from coconut waste, barbados cherry and cashew. Primarily, the collection of fiber-to-dry coconut and cake/shells from barbados cherry and cashew for later preparation of this material by impregnation with $ZnCl_2$, chemical activation and conducting an evaluation test coal efficiency. The result, within all samples, was an activated carbon where the application in the water sample collected from the Capibaribe River (near Chico Science tunnel), Recife, presented a decrease in turbidity in 97.3% using treatment with 25% fiber- coconut + 75% cashew.

Keywords: Agribusiness. Chemical activation. Adsorption. Reuse of waste.

CAPÍTULO I

1.1 Introdução

Ao longo dos anos, os problemas ambientais vêm se agravando e tornando mais frequentes, principalmente decorrentes do crescimento populacional e das elevadas atividades industriais. Esses fatores provocam expressivamente o crescimento do volume de resíduos industriais e de pós-consumos despejados no ambiente, superando a sua capacidade de promover a autodepuração e de prestar serviços ecossistêmicos essenciais à vida no planeta (KUNZ; PERALTA-ZAMURA, 2002; PINTO, 2013).

No Brasil, a agricultura e a agroindústria movimentam bilhões de reais na economia do país (ANUÁRIO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 2013) e, também, são responsáveis por muitos danos ambientais, pois existe pouca preocupação do setor na geração, tratamento e/ou destinação dos resíduos sólidos, na alta geração em termos quantitativos e na sua degradabilidade, que, em certos casos, é muito lenta e geram inúmeros subprodutos tóxicos, cumulativos ou de difícil degradação (GODECKE; CHAVES; NAIME, 2012).

Depois de 20 anos de tramitação legislativa, o Brasil aprovou em agosto de 2010 a Lei 12.305/2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), que serve como instrumento para orientar as ações estratégicas na área ambiental, alcançando resultados significativos para o desenvolvimento ambientalmente sustentável e socialmente justo. A partir da elaboração do Plano Nacional de Resíduos Sólidos traçaram-se diretrizes, estratégias e metas objetivadas depois de uma ampla discussão com os atores da sociedade. Também, revê a prevenção e a redução na geração de resíduos, tendo como proposta a prática de hábitos de consumo sustentável e um conjunto de instrumentos para propiciar o aumento da reciclagem e da reutilização dos resíduos sólidos (aquilo que tem valor econômico e pode ser reciclado ou reaproveitado) e a destinação ambientalmente adequada dos rejeitos (aquilo que não pode ser reciclado ou reutilizado), de acordo com Brasil (2010).

Nas últimas décadas, há um aumento na utilização dos resíduos agroindustriais, hoje denominada biomassa residual, por ser constituída de compostos orgânicos, apresentando-se como uma fonte de matéria-prima renovável mais abundante

encontrada na natureza (GONZALES et al., 2013). Os resíduos agroindustriais, após o processamento de matérias-primas apresentam maior valor agregado, principalmente em países de extensas produções, acreditando-se que o potencial de ganhos para a economia seja de grandes proporções (CASTRO; PEREIRA JR, 2010).

Vários estudos propuseram a produção de carvão ativado (CA) a partir de resíduos tais como sementes de frutas, bagaço de cana-de-açúcar, restos de couro, pneus, dentre outros. Isso é possível, pois o carvão ativado (grânulos ou pó) é um material carbonáceo e poroso preparado pela carbonização e ativação de substâncias orgânicas, principalmente de origem vegetal. São utilizados extensamente para a adsorção de poluentes em fases gasosas e líquidas, como suporte para catalisadores, na purificação de vários compostos líquidos ou gasosos, no tratamento de efluentes, de água e vários outros processos (BRUM et al., 2008).

O carvão ativado é considerado uma das tecnologias mais acessíveis para o controle ambiental, pois se busca minimizar a relação custo/benefício de um processo que empregue este material a partir de matérias-primas de baixo custo. Em busca desse propósito, a produção de carvão ativado pelos resíduos de coco, acerola e caju torna-se uma pesquisa inédita, econômica, social e ambientalmente válida e de grande contribuição para a área acadêmica.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

Produzir carvão ativado a partir de resíduos de coco, acerola e caju, visando à minimização de poluentes, através do uso de fontes alternativas para a produção de carvão, com vistas à redução dos custos de obtenção e à preservação do ambiente.

1.2.2 Objetivos específicos

- Coletar os materiais a serem utilizados no experimento;
- Planejar os experimentos para mistura das amostras;
- Produzir o carvão dos resíduos alternativos e ativar quimicamente as amostras;
- Avaliar a eficiência do carvão ativado produzido na água do rio Capibaribe, Recife/PE.

1.3 Revisão de Literatura

1.3.1 Resíduos sólidos

A produção de resíduo acompanha a história da humanidade. Desde a pré-história, por volta de 8.000 a.C., as atividades nômades de caça e a coleta de frutas já geravam resíduos, os quais eram inteiramente reaproveitados pela Natureza, sem causar danos. A partir da expansão das civilizações, essa configuração começou a sofrer modificações, passando a necessitar de intervenções humanas. Em 2.500 a.C., na civilização mesopotâmica, os sumérios enterravam os resíduos sólidos, os quais, posteriormente, eram desenterrados e utilizados como adubo no cultivo de cereais. Em 500 a.C., há o registro de criação do primeiro depósito de lixo, em Atenas, Grécia. (MACHADO; CASADESI, 2007). No século XVIII, no Rio de Janeiro, as praias, rios e lagoas eram os locais preferidos para o despejo de dejetos e resíduos, causando enorme foco de problemas sanitários e ambientais. Em São Paulo, até os idos de 1870, não havia coleta regular de lixo. Somente em 1913, a Prefeitura começou a gerenciar tal problema, ao adquirir o incinerador Araçá – com capacidade para queima de 40 t/dia (LOPES, 2006).

Mais comumente conhecido como “lixo”, o resíduo sólido é definido pelas Normas Regulamentadoras – NBR 10.004 como aqueles nos estados sólido e semissólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível (ABNT, 2004). A Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS, Lei 12.305/2010, também define resíduos sólidos como: material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade,

a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estado sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água (BRASIL, 2010).

Os resíduos sólidos são classificados tecnicamente, segundo a NBR 10.004 (2004), de acordo com sua periculosidade e suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, patogenicidade e toxicidade. Os resíduos Classe I (Perigosos) são os que requerem a maior atenção, pois os acidentes mais graves e de maior impacto ambiental são causados por esta classe de resíduos. Estes resíduos podem ser condicionados, armazenados temporariamente, tratados em alta temperatura, ou dispostos em aterros sanitários especialmente desenhados para receber resíduos perigosos (Ex: pilhas, baterias de celulares, termômetros, lâmpadas fluorescentes, restos de tintas e vernizes, aerossóis em geral etc.). Os resíduos da Classe II-A (Não inertes) podem ser dispostos em aterros sanitários ou reciclados como no caso dos materiais orgânicos, papéis, vidros e metais (Ex: lamas de estação de tratamento de água, de tratamento de esgoto, cinzas de queimas etc.). E, por último, os resíduos Classe II-B (Inertes) que podem ser dispostos em aterros sanitários ou reciclados (Ex: rochas, tijolos, vidros, certos plásticos, borrachas etc.) de acordo com ABNT (2004).

Os danos produzidos pela geração (Tabela 1) e disposição dos resíduos sólidos ultrapassam os aspectos socioambientais, alcançando a esfera econômica, em que os prejuízos do descarte destes resíduos, sem reaproveitamento ou reciclagem, decorrem da necessidade de extração de novas matérias-primas (minerais principalmente) e custos envolvidos em toda a cadeia de extração, transporte, beneficiamento etc. Tais atividades estão cada vez mais custosas devido à intensa e desenfreada exploração dos recursos, o que demanda desenvolvimento de novas tecnologias e a busca em locais mais distantes e menos acessíveis (ANDRADE et al., 2013). Tudo isso tende a contribuir para a geração de mais resíduos.

Demajorovic (1995) afirma que o problema envolvendo a relação de resíduos e o ambiente é mais evidente no campo dos resíduos sólidos devido à baixa dispersão destes em relação aos resíduos gasosos e efluentes, causando grandes problemas ao ambiente. Essa visão impactante de que os resíduos são apenas poluidores limita o pensamento de que eles podem, na verdade, ser considerados como matéria-prima, fonte de energia, geração de renda e adubo, ações essas que minimizariam os impactos ao meio-ambiente.

Tabela 1- Estimativa da composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos coletados no Brasil em 2008

Resíduos	Participação (%)	Quantidade (t/dia)
Material reciclável	31,9	58.527,40
Metais	2,9	5.293,50
Aço	2,3	4.213,70
Alumínio	0,6	1.079,90
Papel, papelão e tetrapak	13,1	23.997,40
Plástico total	13,5	24.847,90
Plástico filme	8,9	16.399,60
Plástico rígido	4,6	8.448,30
Vidro	2,4	4.388,60
Matéria orgânica	51,4	94.335,10
Outros	16,7	30.618,90
Total	100,0	183.481,50

Fonte: Brasil (2010).

Um dos problemas atuais na agricultura, e na agroindústria associada, é a pouca preocupação do setor em relação à geração de resíduos e seu posterior tratamento e/ou destino adequado. Os resíduos agropecuários e os florestais podem provocar impactos ambientais, no sentido de gerar “alteração da qualidade ambiental que resulta da modificação de processos naturais ou sociais provocadas por ação humana”, conforme conceito proposto por Sanchez (2006). Os impactos ambientais associados

a esses resíduos decorrem da alta geração, em termos quantitativos, e da degradabilidade, em certos casos muito lentos e, em outros, com geração de subprodutos que podem ser tóxicos, cumulativos ou de difícil degradação (SANCHEZ, 2006).

Nas últimas décadas, especial atenção vem sendo dada para minimização ou reaproveitamento de resíduos sólidos gerados nos diferentes processos industriais. Os resíduos provenientes da indústria de alimentos envolvem quantidades de casca, caroço e outros. Esses materiais, além de fonte de material orgânico, servem como fonte de proteínas, enzimas e óleos essenciais, passíveis de recuperação e aproveitamento (COELHO et al., 2001) e, se for empregada uma tecnologia adequada, estes materiais podem ser convertidos em produtos comerciais ou matérias-primas para processos secundários (PELIZER; PONTIERI; MORAIS, 2007).

O reaproveitamento da biomassa remanescente dos processos empregados na agricultura e na agroindústria, além de evitar a acumulação dos resíduos, contribuindo para o controle da poluição e proporcionando melhores condições de saúde pública, pode também servir para a geração de energia limpa e para a recuperação de elementos valiosos presentes nos resíduos, tais como N, P, K e microelementos, contribuindo para a fertilização do solo e melhoria da produção de alimentos (SANCHEZ, 2006).

1.3.2 Fruticultura no Brasil

O Brasil apresenta muitos méritos quando se fala em fruticultura. A organização das cadeias produtivas faz com que determinadas espécies tenham conquistado mercados mundo a fora e consigam abastecê-los com excelência. Outros setores ainda buscam maior inserção internacional, o que vem sendo ampliado a cada ano, com apoio de projetos como o *Brazilian Fruit*. Por outro lado, o consumo interno igualmente está aumentando, graças ao avanço do poder aquisitivo de mais de 30 milhões de brasileiros (ANUÁRIO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 2013).

Ainda segundo Anuário Brasileiro de Fruticultura (2013), mesmo em um cenário no qual se lidam com aspectos difíceis de combater, como as adversidades climáticas e outros que ainda merecem mais atenção, como problemas logísticos de armazenamento e de abastecimento, a produção de frutas tem alcançado bons resultados. Os últimos dados oficiais do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), que se referem a 2011, mostram que houve aumento de 6,77 % na colheita em relação a 2010, em uma cesta de 20 espécies acompanhadas pela estatal, atingindo quase 45 milhões de toneladas.

Nos últimos anos, a produção brasileira de frutas (Tabela 2) foi ampliada em 22,49 %. Os números oficiais do IBGE mostram que, em 2001, a colheita se situava em 36.699 milhões de toneladas, levando-se em conta as 20 principais espécies acompanhadas pelo órgão governamental. Já em 2011, o resultado alcançado foi de 44,954 milhões de toneladas.

Tabela 2- As frutas mais produzidas no Brasil nos anos de 2011 e 2012

Frutas	2011		2012
	Área (ha)	Volume (t)	Volume (t)
Laranja	818.685	19.811.064	19.059.890
Banana	505.665	7.329.471	6.861.719
Abacaxi	62.868	3.187.463	3.187.463
Melancia	98.501	1.962.434	2.198.624
Coco-da-baía	271.633	2.198.624	1.912.319

Fonte: Anuário Brasileiro de Fruticultura (2013).

O Brasil é o terceiro maior produtor mundial de frutas, atrás apenas da Índia e da China, com um total de 340 milhões de toneladas colhidas em todo o mundo anualmente. Contribui com 10 % da produção mundial, onde a laranja e a banana representam quase 60 % do volume de frutas produzidas no Brasil. A fruticultura brasileira gera quatro milhões de empregos diretos e representa 25 % do agronegócio (BRASIL, 2013).

A fruticultura, como atividade comercial, está disseminada pelo País. No entanto, alguns estados se destacam. São Paulo, sozinho, representa mais de 40 % da produção nacional. Em 2011, ano com a última informação oficial do IBGE, foram colhidas 19,186 milhões de toneladas em território paulista, do total de 44,954 milhões de toneladas. Na sequência, aparece com destaque a Bahia, com 5,401 milhões de toneladas; o Rio Grande do Sul, com 2,778 milhões de toneladas; Minas Gerais, com 2,690 milhões de toneladas; Pará, com 1,665 milhão de toneladas; Paraná, com 1,567 milhão de toneladas; Santa Catarina, com 1,529 milhão de toneladas; Pernambuco, com 1,392 milhão de toneladas; Ceará, com 1,374 milhão de toneladas; Sergipe, com 1,27 milhão de toneladas; e Espírito Santo, com 1,176 milhão de toneladas (ANUÁRIO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 2013).

1.3.3 Coco (*Cocos nucifera* L.)

O coqueiro é uma planta da família *Palmae* (*Arecaceae*), única espécie do gênero *Cocos*, de nome científico *Cocos nucifera* Linn ou *Cocos nucifera* L. Possui raiz na forma de um sistema radicular fasciculado, caule do tipo estipe e folhas do tipo penada. É uma planta do tipo monóica, possuindo algumas flores femininas e numerosas flores masculinas na mesma inflorescência, do tipo paniculada, axiliar, protegida por espatas (SIQUEIRA; ARAGÃO; TUPINAMBÁ, 2002).

O coco é botanicamente classificado como uma drupa fibrosa, formado por: epicarpo ou epiderme lisa, camada que envolve o mesocarpo; mesocarpo, camada espessa e fibrosa (casca); endocarpo, camada lenhosa que envolve a semente, tornando-se muito dura com o amadurecimento. Conforme a variedade pode apresentar diferentes características de cor e forma (BENASSI, 2006; BRITO, 2004).

O coqueiro (*Cocos nucifera* Linnaeus, *Arecaceae*) é uma planta de clima tropical e distribuído nas Américas Central e do Sul, África, Ásia e ilhas do Pacífico e em mais de 90 países. Recebe denominações diversas de acordo com a localidade. No Brasil o

fruto é comumente denominado de coco ou coco-da-baía (PERERA et al., 2000; SIQUEIRA; ARAGÃO; TUPINAMBÁ, 2002) e é capaz de fornecer óleo, gorduras, minerais e vitaminas essenciais, sendo utilizado em diversas indústrias dos ramos alimentício e cosmético (MARTINS, 2011; RIBEIRO et al., 2011).

Existem evidências históricas de que não existiam coqueiros no Brasil na época do descobrimento. Em 1553 o coqueiro gigante foi introduzido pelos portugueses no estado da Bahia, procedente das ilhas de Cabo Verde. O coqueiro anão foi introduzido pela primeira vez no Brasil em 1924 (SIQUEIRA; ARAGÃO; TUPINAMBÁ, 2002).

Em 2010 (Tabela 3), a área cultivada com coqueiros foi aproximadamente de 10,8 milhões de hectares, produzindo cerca de 55 milhões de toneladas. No mesmo ano, o Brasil foi o quarto maior produtor mundial, com 1,99 bilhões de frutos, numa área cultivada de 276,8 mil hectares. As cinco maiores produções foram dos estados da Bahia, Pará, Ceará, Pernambuco e Espírito Santo (AGRIANUAL, 2010).

Tabela 3 - Principais países produtores de coco no mundo e estimativa de produção, em milhares de toneladas, entre 2001 e 2010

Maiores produtores de Coco no Mundo (1000 t)			
Países	2001	2004	2010
Indonésia	15.815	16.285	19.500
Índia	9.530	9.500	10.894
Brasil	2.131	2.947	2.759
Sri Lanka	2.104	1.950	2.210
México	1.100	959	1.246
Malásia	712	642	455

Fonte: Organização de Alimentos e de Agricultura das Nações Unidas - FAO (2011).

Dos estados que possuem as maiores produções nacionais três são da região Nordeste do país: a Bahia, maior produtor de coco do País (467 milhões de frutos); Sergipe o segundo maior produtor (279,2 milhões de frutos); e o Ceará, figurando na

terceira posição (259,3 milhões de frutos). Estes estados juntos respondem por 60 % da produção nacional de coco (MARTINS; JESUS, 2011).

O aumento na produção e no consumo da água-de-coco tem gerado cerca de 6,7 milhões de toneladas de casca/ano, acarretando um sério problema ambiental nas áreas litorâneas do país, e o fruto descartado, normalmente, é depositado nos aterros e, também, nos lixões, o que tem provocado um significativo aumento nos serviços municipais de coleta, transporte e deposição de lixo em função, principalmente, do grande volume que representa. Devem-se considerar, também, a necessidade de grandes espaços nos vazadouros, o longo tempo de decomposição desse material (oito a 12 anos), os efeitos deletérios à paisagem urbana e os possíveis impactos negativos ao ambiente (ANDRADE et al., 2004).

1.3.4 Acerola (*Malpighia emarginata* DC)

O fruto da acerola, conhecida também como cereja-das-antilhas ou cereja-de-Barbados, é originário da região compreendida ao sul do México, América Central e Norte da América do Sul (MEZADRI et al., 2006), cultivado em escala comercial em Porto Rico, Havaí, Jamaica e Brasil. Pertencente à família *Malpighiaceae*, era conhecida pelos termos *Malpighia glabra* L. e *Malpighia puniceifolia* L., mas recebeu recentemente reclassificação taxonômica que resultou na determinação do nome *Malpighia emarginata* DC., como atual nome científico da planta (MEZADRI et al., 2008).

A acerola é drupa composta pelo epicarpo (casca externa) constituído por fina película, mesocarpo que diz respeito à polpa propriamente dita e endocarpo, que corresponde a três caroços unidos. Durante o processo de maturação, a acerola apresenta tonalidades que variam do verde ao amarelo, laranja, vermelho ou roxo (RIBEIRO; SERAVALLI, 2007).

Parte do volume de fruto "*in natura*" é destinada para operações de beneficiamento para produção de sucos, concentrados e néctares (MEZADRI et al., 2008; MOREIRA et al., 2009). O Nordeste brasileiro concentra número expressivo dessas indústrias de beneficiamento, o que gera grande quantidade de resíduo de frutos, podendo atingir até 50 % da matéria-prima original (LOUSADA JUNIOR et al., 2006; RODRIGUEZ, 2006). Os coprodutos constituem mistura heterogênea de sementes, cascas e peles, e se caracterizam como resíduos orgânicos devendo ser tratados de forma adequada, uma vez que seu descarte pode trazer problemas ambientais, além de perdas de matéria-prima e de energia. Apesar de poderem ser reutilizados, muitas indústrias simplesmente os descartam por não terem conhecimento de estratégias adequadas de reutilização (PELIZER et al., 2007; SOUZA; CORREIA, 2010).

Além do ácido ascórbico, estudos recentes comprovam a existência de importantes compostos bioativos na acerola, tais como compostos fenólicos e corantes naturais (ROSSO; MERCADANTE, 2005, 2007; ROSSO et al., 2008) com propriedades antioxidantes (MEZADRI et al., 2008), substâncias com reconhecida ação na prevenção de doenças degenerativas, atividade biológica e manutenção da saúde (DEMBITSKY et al., 2011)

Segundo o IBGE (2010), o Brasil é o maior produtor, consumidor e exportador mundial de acerola onde 40 % da produção são destinadas ao mercado externo. A área plantada com acerola no Brasil ultrapassa 10.000 hectares, sendo o estado de Pernambuco, seguido da Bahia e do Ceará, os maiores produtores dessa fruteira. A produção está estimada em torno de 33.000 toneladas de frutos, oriundos, especialmente, da região Nordeste.

O rejeito da indústria convencional do coco maduro pode ser usado como combustível para caldeiras, ou na manufatura de cordoalha, tapetes, estofamentos e capachos. Estudos mais recentes sugerem ainda a utilização do resíduo da casca na agricultura intensiva, principalmente no cultivo de plantas ornamentais e hortaliças. No

entanto, a alta umidade (cerca de 85 %) e as características da fibra-do-coco imaturo reduzem seu aproveitamento em relação a casca do coco maduro.

1.3.5 Caju (*Anacardium occidentale L.*)

O cajueiro pertence à família das *anacardiaceae* e de acordo com Leite (1994) é constituída por árvores e arbustos tropicais e subtropicais que apresentam ramos sempre providos de canais resiníferos e folhas alternadas, coriáceas e sem estímulas. Dentre as vinte e duas espécies de *anacardium* já classificadas, a *occidentale L.* destaca-se pela sua domesticação e aproveitamento econômico (LEITE, 1994).

O caju é formado por um pedúnculo, ou pseudofruto, que se forma junto à castanha, o verdadeiro fruto que tem uma forma semelhante a um rim humano, é um pedúnculo hipertrofiado, carnoso, suculento, que apresenta grande variação de tamanho (três até 20 cm de comprimento por três até 12 cm de largura); peso em torno de 15 a 200 gramas; formatos diversos (desde periforme, cilíndrico à fusiforme, alongado, e ficóide); e cor variando desde o amarelo-canário ao vermelho vinho (LEITE, 1994).

O pedúnculo é a parte comestível “*in natura*” do caju de onde se obtém sucos, cajuína e fibras alimentares e representa cerca de 90 % do peso total. Os 10 % restantes são o fruto de onde se extrai a amêndoa e o líquido da castanha de caju. A castanha de caju, conjuntamente com a castanha do Brasil e o amendoim, é importante fonte de minerais para a dieta, com bons teores de Mg, P, K e Zn. A natureza de seus óleos, tipicamente insaturados, elege o caju para compor o cardápio nutricional da população brasileira, desde que se atente para limitar a quantidade, dado seu alto teor calórico. Apenas 100 g do produto podem suprir a necessidade diária de calorias de um adulto (LEITE; PESSOA, 2002; OLIVEIRA, 2002).

No caso do Brasil, são gerados empregos também no processamento do pedúnculo, com elevada variedade de produtos, como: bebidas (sucos, cajuína, néctares, polpas, aguardente etc.), doces e ração animal (OLIVEIRA; ANDRADE, 2004). A Região Nordeste, com uma área plantada superior a 650 mil hectares, responde por mais de 95 % da produção nacional, sendo os estados do Ceará, Piauí, Rio Grande do Norte e Bahia os principais produtores. Nos dados do Anuário Brasileiro de Fruticultura (2013) o estado do Ceará aparece como o maior produtor do caju com 111.718 toneladas em 2011 e 38.574 em 2012, essa queda de produção é devido à seca na região.

A agroindústria do caju possui uma ocupação geográfica produtiva bem definida, concentrando-se em poucos países do Terceiro Mundo, como Índia, Brasil e alguns outros do leste africano. O grande negócio do caju está na comercialização da amêndoa, que movimenta em torno de meio bilhão de dólares por ano, tendo em vista as exportações globais que se destinam, notadamente, para os Estados Unidos, Europa, e alguns países asiáticos (LEITE, 1994).

A criação de sistemas agroindustriais sustentáveis tem sido uma busca constante junto às cadeias produtivas agropecuárias. As ações estão sendo implantadas visando ao desenvolvimento de tecnologias e processos que possibilitem o aproveitamento integral do caju, sobressaem-se as ações voltadas para o desenvolvimento de produtos diferenciados com boa agregação de valor, tornando, por exemplo, o processamento do pedúnculo do caju uma oportunidade de aumento de renda e redução nos custos de produção dos pequenos produtores (LEITE, 1994).

1.3.6 Carvão ativado

Carbono ativado ou carvão ativado é um material carbonáceo com uma porosidade altamente desenvolvida, contendo uma grande área superficial, normalmente superior a 1100 m²/g, e elevado grau de reatividade superficial, apresentando uma forma microcristalina, não grafitica, que passou por um

processamento para aumentar a porosidade interna. Estas características únicas fazem do carvão ativado um material muito versátil, que têm sido estudados, como adsorvente para remoção de poluentes em fases gasosas ou líquidas e na purificação ou recuperação de produtos químicos (DIAS et al., 2007; PEREIRA, 2010; SCHETTINO JUNIOR et al., 2007; SUGUMARAN et al., 2012).

A estrutura do carvão ativado é normalmente composta por cerca de 87 a 97 % de carbono, também contendo oxigênio, hidrogênio, enxofre e nitrogênio, dependendo do material precursor utilizado na fabricação. Ele também pode apresentar substâncias e/ou compostos inorgânicos em quantidades que podem variar de 1 a 20 %, mas elas são retiradas, através de lavagem com ácidos minerais em sua ativação (COSTA, 2007).

De acordo com Rodriguez-Reinoso e Marsh (2006) toda flora do mundo é capaz de proporcionar um carvão poroso a partir da carbonização em atmosfera inerte. No entanto, a maioria não é capaz de produzir um carvão ativado com eficiência para aplicações industriais. Os carvões ativados comerciais no mercado são o resultado de pesquisa e desenvolvimento contínuo e intensivo para otimização da aplicação (Tabela 4).

Portanto, é de extrema relevância encontrar matérias-primas adequadas de baixo custo, economicamente atraente e ao mesmo tempo em que apresentem características semelhantes ou até melhores do que as convencionais. O uso de materiais residuais para a preparação de carvão ativado também é ideal do ponto de vista da sua contribuição para diminuir os custos de eliminação de resíduos ajudando na proteção ambiental.

Tabela 4 – Precursores de carvão ativado

Precursores	Autores
Casca de coco e madeira de pinus	Pereira (2010)
Casca de arroz	Schettino Junior et al. (2007)
Endocarpo do coco	Santiago et al. (2006)
Bagaço de azeitona	Demiral et al. (2011)
Caroço de buriti	Pinto, Silva e Saraiva (2012)
Turfa	Claudino (2003)
Resíduos de café	Brum et al. (2008); Baquero et al. (2003)
Serragem de teca	Ismadji et al. (2005)
Casca de palmeira	Arami-niya et al. (2012)
Resíduos de pneus	Ariyadejwanich et al. (2003)
Lamas da indústria de processamento de alimentos	Mahapatra, Ramteke e Paliwal (2012)

Fonte: Autoria própria (2015).

1.3.7 Produção do carvão ativado

Basicamente, existem duas etapas principais para a preparação e fabricação de carvão ativado: a carbonização da matéria-prima carbonácea abaixo de 700 °C, na ausência de oxigênio; e a ativação do produto carbonizado (carvão), que seja térmica também conhecida como física ou química (IOANNIDOU; ZABANIOTOU, 2007). As características de cada carvão são influenciadas, sobretudo, pelo material precursor e pelo método utilizado na sua preparação.

1.3.7.1 Ativação física

No processo de produção do carvão ativado por meio térmico (físico) ocorrem duas fases: a primária consiste na carbonização ou pirólise do precursor na ausência de ar e temperatura abaixo de 700 °C, para remoção de espécies não carbonáceas (como os gases voláteis monóxido de carbono (CO), gás hidrogênio (H₂), dióxido de

carbono (CO_2) e metano (CH_4) e, posteriormente, a produção de massa carbônica. Na fase secundária o material carbonizado é ativado em temperaturas que podem variar de 800 a 1200 °C, em fluxo de vapor de água ou gás carbônico, ou mesmo uma mistura dos dois, removendo o material carbonáceo do interior das partículas resultando na criação e desobstrução dos poros já existentes, levando a um desenvolvimento da estrutura porosa do carvão ativado (COSTA, 2007; DEMIRAL et al., 2011; CLAUDINO, 2003; SOARES, 2001).

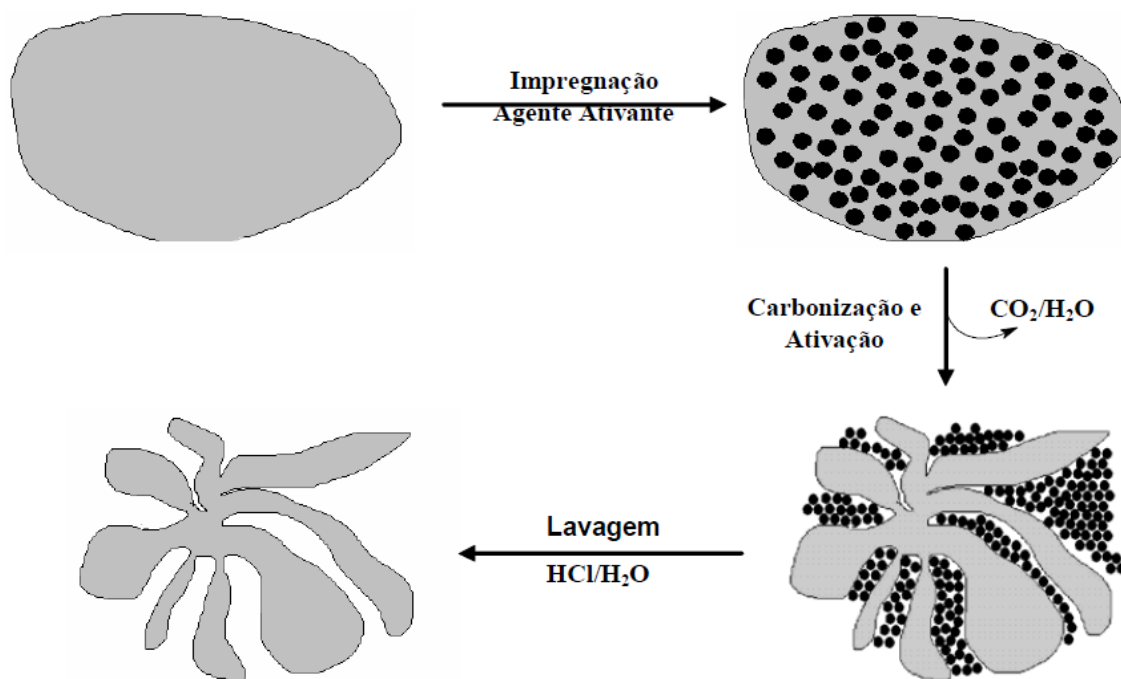
1.3.7.2 Ativação química

No processo de ativação química (Figura 1), a carbonização e ativação ocorrem simultaneamente onde o precursor é impregnado por agentes desidratantes como o ácido sulfúrico (H_2SO_4), ácido fosfórico (H_3PO_4), cloreto de zinco (ZnCl_2) ou cloreto férrico (FeCl_3) que influenciam na decomposição pirolítica e inibem a formação de alcatrão, aumentando, assim, o rendimento de carbono, à uma temperatura que varia entre 400 a 600 °C em atmosfera inerte. Posteriormente, o reagente químico é removido do carvão através da lavagem com ácido clorídrico (HCl), para desobstrução dos poros formados (DEMIRAL et al., 2011; CLAUDINO, 2003; COSTA, 2007). Há uma vantagem da ativação química em relação à física, devido ao baixo custo energético, temperaturas de até 600 °C e a alta eficiência do processo.

1.3.8 Adsorção

Segundo Pereira (2010) define-se como adsorção um fenômeno físico-químico onde uma natureza química (adsorbato) se prende na superfície de outra natureza química (adsorvente). O adsorvente é a fase que adsorve, e o material concentrado na superfície daquela fase, é o adsorbato. Na adsorção ocorre uma acumulação de moléculas (soluto) sobre a superfície do adsorvente. Quando o carvão ativado é colocado em contato com o soluto, há uma diminuição na sua concentração na fase líquida e um aumento correspondente sobre a superfície do adsorvente (carvão ativado), até se obter uma condição de equilíbrio (CENDOFANTI, 2005).

Figura 1- Processo de ativação química e remoção do agente ativante



Fonte: Dias (2007).

Para Mohan e Pittman (2006) a adsorção pode ser definida como a acumulação de um elemento ou substância na interface entre a superfície sólida e a solução adjacente. Nesse tipo de operação, gases ou líquidos de um sistema de mistura, mesmo quando em concentrações extremamente pequenas, podem ser capturados e removidos da corrente gasosa ou líquida, usando uma grande variedade de materiais adsorventes (GOLIN, 2007). Na verdade, o adsorvente é um exemplo de um agente de separação de massa, usado para facilitar operações de separação.

Dependendo da força das ligações da adsorção que ocorrem entre as moléculas que estão sendo adsorvidas (adsorbato) e o adsorvente, podem-se diferenciar dois tipos principais de adsorção: adsorção física ou fisissorção e adsorção química ou quimissorção, segundo Pereira (2010). A adsorção física do carvão ativado é o resultado de forças atrativas chamadas van der Waals. A adsorção é definida como

química quando ocorre o compartilhamento ou a troca de elétrons entre o adsorbato e o adsorvente, através de uma ligação química (CENDOFANTI, 2005).

Na adsorção em fase líquida as moléculas aderem fisicamente sobre o adsorvente através destas forças relativamente fracas da ordem de < 45 KJ/mol, que são as mesmas responsáveis pela liquefação e condensação de vapores quando no caso da adsorção em fase gasosa. No caso de adsorção física, a natureza do adsorvente não é alterada. A reversibilidade da adsorção física depende das forças atrativas entre o adsorbato e o adsorvente. Se estas forem fracas, a dessorção ocorre com certa facilidade (CENDOFANTI, 2005; GOLIN, 2007).

Os calores típicos de adsorção química são da ordem de 10 a 100 kcal/mol, que são muito maiores daqueles da adsorção física. Adsorção química que é a forma menos comum, ocorre às temperaturas maiores do que 200 °C, quando a energia de ativação está disponível para a quebra das ligações químicas (CENDOFANTI, 2005; GOLIN, 2007).

Vários materiais, tais como argila, bagaço de cana, madeira e outros resíduos celulósicos têm sido estudados nos processos de adsorção de contaminantes orgânicos (DALLAGO et al., 2005; DIAS et al., 2003). O material que apresenta maior capacidade de adsorção (Tabela 5), sendo amplamente utilizado para o tratamento de efluentes, é o carvão ativado. Entretanto, devido às perdas durante o processo de recuperação do adsorvente, sua utilização torna-se onerosa. Nesse sentido, existe um crescente interesse na busca de materiais alternativos de baixo custo que possam ser utilizados na produção de carvão ativado.

Tabela 5 - Adsorventes e suas aplicações

Adsorventes	Aplicações
Carvão Ativado (CA)	Adsorção de orgânico, gases, purificação de H ₂ O
Polímeros	Adsorção de solutos polares em soluções aquosas
Sílica Gel	Purificação de gases, remoção de umidade, refino de derivados do petróleo.
Alumina Ativada	Remoção de contaminantes, desidratação de gases e líquidos

Fonte: Florido (2004).

As características do carvão que afetam o processo de adsorção é a textura dos poros, a química de superfície e teor de matéria mineral. A capacidade de adsorção de materiais de carbono não está relacionada em um formulário simples com a sua área de superfície e porosidade. A capacidade de adsorção depende da acessibilidade das moléculas orgânicas à superfície interna do adsorvente, o que depende do seu tamanho. Em condições experimentais apropriados, pequenas moléculas podem acessar microporos, a matéria orgânica natural pode acessar mesoporos, e as bactérias podem ter acesso a macroporos (MORENO-CASTILLA, 2004).

1.3.8.1 Porosidade

O carvão é por natureza um material microporoso. Embora estes poros confirmam alta área superficial, o diâmetro é muito pequeno, deixando os poros inacessíveis para diversos tipos de moléculas com tamanhos maiores. Mas os carvões ativados possuem também mesoporos e macroporos. Estes poros não possuem a mesma importância dos microporos no processo de adsorção, mas agem como meios de transporte para as moléculas, especialmente os mesoporos. A grande maioria dos carvões ativados comerciais possui área superficial específica na ordem de 800 a 1500 m²/g e máxima distribuição de volume de poros, em função do raio, na faixa de microporos, de 0,4 a dois nm, sendo classificados como um material predominantemente microporoso (COSTA, 2007).

Um dos aspectos mais importantes para a avaliação do desempenho é a porosidade. Existem diferenças na estrutura e conseqüentemente na adsorção, tudo em relação aos poros do material. Segundo a União Internacional de Química Pura e Aplicada – IUPAC a classificação porosa resumida é definida:

Quanto à forma

- Poros abertos: correspondem aos buracos que se ligam com a superfície externa, permitindo o fluxo de um fluido, conhecido como poro de transporte, mesmo se ligando a braços que não contribuem para o fenômeno de transporte.
- Poros fechados: correspondem aos buracos isolados e não possuem nenhuma ligação com outros buracos.

Quanto à dimensão

- Microporos ($d < 2 \text{ nm}$): contribuem para a maioria da área superficial que proporciona alta capacidade de adsorção para moléculas de dimensões pequenas, tais como gases e solventes comuns.
- Mesoporos ($2 \text{ nm} < d < 50 \text{ nm}$): são importantes para a adsorção de moléculas grandes tais como corantes, e proporcionam a maioria da área superficial para carvões impregnados com produtos químicos.
- Macroporos ($d > 50 \text{ nm}$): são normalmente considerados sem importância para a adsorção e sua função é servir como meio de transporte para as moléculas gasosas.

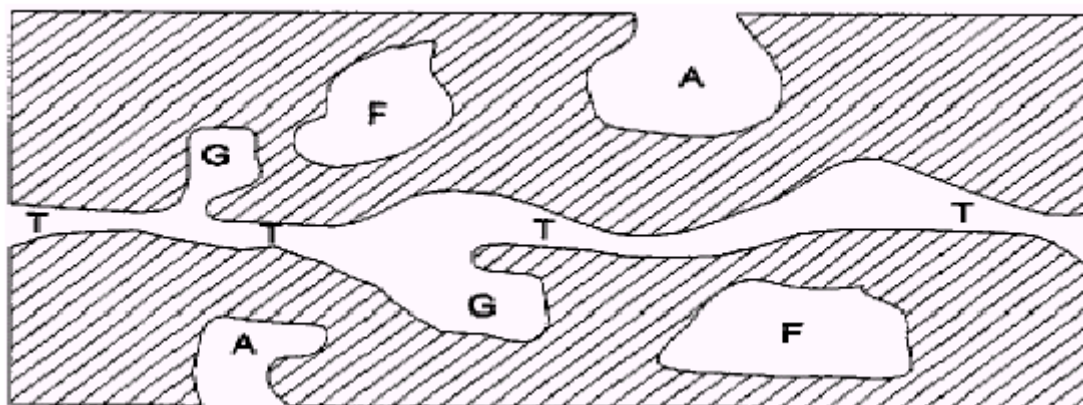
Quanto ao tipo

- Existem três tipos de poros: aberto, parcialmente fechado e gaiola intersticial, esquematizados na Figura 2.

O carvão ativado deve possuir um grande volume de microporos, ou seja, uma boa área superficial, com uma distribuição de poros de tamanho adequado, a fim de que as moléculas do adsorvato de diferentes tamanhos possam ser adsorvidas. Aliado a isso, deve haver uma proporção adequada de mesoporos para facilitar o acesso aos microporos. São realizadas várias pesquisas para fornecer métodos de ativação para o desenvolvimento de melhores distribuições de poros de tamanho controlados para

atender a ampla variedade de exigências industriais (RODRIGUEZ-REINOSO; MARSH, 2006).

Figura 2 - Esquema apresentando os diferentes tipos de poros em um sólido quanto à forma: (T) poro de transporte, (A) poro aberto, (F) poro fechado e (G) poro tipo gaiola



Fonte: Gregg e Sing (1982).

1.3.9 Aplicação do carvão ativado

A utilização de materiais carbonáceos porosos como adsorvente pela humanidade é muito antiga, existem registros que datam a sua aplicação entre 2000 e 1550 a.C., quando os egípcios já o usavam para purificar a água. Na Europa o carvão ativado foi produzido industrialmente em 1909, a partir da patente de R. von Ostrejko. O uso de gases tóxicos na 1ª Guerra Mundial fez nascer a necessidade de utilizar máscaras de gases que continham filtros de carvão ativado. Nos Estados Unidos a utilização de carvão ativado no tratamento de água foi relatada pela primeira vez em 1930, com a função de retirar o gosto e odor da água contaminada. Após a década de 50 foi desenvolvida a manufatura de carvão ativado em pó e o seu uso foi amplamente estendido (COSTA, 2007; MOHAN; PITTMAN, 2006; SCHETTINO JUNIOR et al., 2004).

Utilizado principalmente na terceira etapa de uma Estação de Tratamento de Água – ETA, a adsorção em carvão ativado promove a remoção de compostos sintéticos e/ou naturais, tais como: pesticidas e herbicidas, agentes responsáveis por odor e sabor (por exemplo cloro usado como bactericida no tratamento da água, geosmina e 2-metilisoborneol gerados por algas vermelhas na superfície da água e trihalometanos, substância extremamente cancerígena, resultante da reação de material orgânico presente na água com o cloro), corantes, solventes, desinfetantes, metais e gases dissolvidos etc. (COELHO; VAZZOLER; LEAL, 2012). Além da característica adsorvente de inorgânicos, também é um substrato para fixação de microrganismos que consomem substâncias biodegradáveis (SOARES, 2001). O mesmo também ocorre na fase final do processo biológico em colunas de leito fixo, na fase de polimento, removendo cor ou componentes específicos, como, por exemplo, o mercúrio, no tratamento de efluentes. Em sistemas tipo lodos ativados, fazendo a remoção de cor e/ou enriquecendo o lodo no número de bactérias por centímetro cúbico. Como suporte para microrganismos em sistemas de filtros biológicos ou processos anaeróbios (MUCCIACITO, 2006).

Na indústria alimentícia, segundo Rodriguez-Reinoso e Marsh (2006), o carvão ativado purifica os alimentos, adsorvendo as contaminações orgânicas indesejadas de várias matérias-primas, produtos intermediários e/ou finais dependendo da fabricação, como sucos de frutas, concentrados de sucos, vinhos, bebidas de malte e licores destilados, além de água, açúcares e adoçantes. Já na indústria farmacêutica o carvão ativado também é o adsorvente mais comumente utilizado para purificação de substâncias, remoção de cor e impurezas de vitaminas, enzimas, analgésicos, penicilina, soluções intravenosas, além de ser utilizado como medicamento no tratamento de desintoxicações (MUCCIACITO, 2006).

Os carvões ativados também são largamente utilizados em processos ambientais e industriais que envolvem o controle, purificação e recuperação de gases. Emprega-se como adsorvente no controle de emissões de chaminés e escapamentos de veículos removendo dioxinas e componentes com mercúrio e na remoção de sulfetos e hidretos de enxofre de emanações gasosas das indústrias de viscose.

Aplicações também em máscaras de gás, filtros de cigarro, remoção de óleo de ar comprimido e contaminante em sistemas de refrigeração. Em processos industriais de recuperação de solventes, tais como impressão, limpeza a seco e pintura (SOARES, 2001).

1.4 Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **Resíduos sólidos – Classificação**, NBR 10004. 2004.

AGRIANUAL. Anuário da Agricultura Brasileira. Coco-da-baía, Banana. São Paulo: FNP, **Consultoria e Agroinformativos**, p.190-204. 2010.

ANDRADE, A. M. et al. Pirólise de resíduos do coco-da-baía (*Cocus nucifera Linn*) e análise do carvão vegetal. **Árvore**, n. 28, p. 707, 2004

ANDRADE, R. T. G. de; JUNIOR, S. G.; FRAGA, C. I. M.; SILVA, J M. BALBINOT, E. Produção e gerenciamento de resíduos sólidos no Instituto Federal de Rondônia, Campus Colorado do Oeste. **Revista de Desenvolvimento e Inovação- REDI**, n.1, 2013.

ANUÁRIO BRASILEIRO DA FRUTICULTURA. Santa Cruz do Sul. **Gazeta Santa Cruz**, p. 128, 2013.

ARAMI-NIYA, A.; DUAD, W. M. A. W.; MIJALLI, F. S.; ABNISA, F.; SHAFEEYAN, M. S. Production of microporous palm shell based activated carbon for methane adsorption: Modeling and optimization using response surface methodology. **Chemical Engineering Research and Design**. v. 90, p. 776–784, 2012.

ARIYADEJWANICH, P.; TANTHAPANICHAKOON, W.; NAKAGAWA, K.; MUKAIB, S. R.; TAMON, H. Preparation and characterization of mesoporous activated carbon from waste tires. **Carbon**. v.41, p. 157–164. 2003.

BAQUERO, M. C.; GIRALDO, L.; MORENO, J. C.; SUÁREZ-GARCÍA, F.; MARTÍNEZ-ALONSO A; TASCÓN, J. M. D. Activated carbons by pyrolysis of coffee bean husks in presence of phosphoric acid. **J. Anal. Appl. Pyrolysis**. v. 70, p. 779-784. 2003.

BENASSI, A. C. **Caracterizações biométrica, química e sensorial de frutos de coqueiro variedade anã verde**. 114f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, UNESP, Jaboticabal-SP. 2006.

BRASIL. **Lei nº 12.305**, de 2 de agosto de 2010. Política Nacional de Resíduos Sólidos. 2010.

_____, **MINISTÉRIO DA AGRICULTURA PECUÁRIA E ABASTECIMENTO**. Disponível em <<http://www.agricultura.gov.br/>>. Acesso em 20. jun. 2013.

BRITO, I. P. **Caracterização e aproveitamento de água de coco seco (*Cocos nucifera L.*) na produção de bebidas**. 118f. Dissertação (Mestrado em Nutrição) – Centro de Ciências da Saúde, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2004.

BRUM, S. S.; BIANCHI, M. L.; SILVA, V. L.; GONÇALVES, M.; GUERREIRO, M. C.; OLIVEIRA, L. C. A. Preparação e caracterização de carvão ativado produzido a partir de resíduos do beneficiamento do café. **Química Nova**. Lavras. v. 31. n. 5, p. 1048-1052, 2008.

CASTRO, A. M.; PEREIRA JR., N. Produção, propriedades e aplicação de celulases na hidrólise de resíduos agroindustriais. **Revista Química Nova**. v. 33, n.1, p. 181-188, São Paulo, 2010.

CENDOFANTI, A. C. **Minimização de resíduos de um processo de carvão ativado e de goma resina**. 92 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

CLAUDINO, A. **Preparação de carvão ativado a partir de turfa e sua utilização na remoção de poluentes**. 89 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

COELHO, E. R. C.; VAZZOLER, H.; LEAL, W. P. Emprego do carvão ativado para remoção de atrazina em água de abastecimento público. **Revista Engenharia Sanitária**. Rio de Janeiro, v.17, n.4 p. 421-428, 2012.

COELHO, M. A. Z.; LEITE, S. G. F.; ROSA, M. F.; FURTADO, A. A. L. Aproveitamento de resíduos agroindustriais: produção de enzimas a partir da casca de coco verde. **Boletim do CEPPA**, Curitiba, v. 19, n. 1, p. 33-42, 2001.

COSTA, L. C. M. **Produção e modificação de carvões ativados para aplicações ambientais**. 179 f. Tese (Doutorado em Ciência – Química) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

DALLAGO, R. M.; SMANIOTTO; OLIVEIRA, L. C. Resíduos de curtumes como adsorventes para remoção de corantes em meio aquoso. **Química nova**, São Paulo, v. 28, n. 3, p. 432-437, 2005.

DEMAJOROVIC, J. Da política tradicional de tratamento do lixo à política de gestão de resíduos sólidos: As novas prioridades. **Revista de Administração de Empresas**. São Paulo, v.35, n. 3, p. 88-93, 1995.

DEMBITSKY, V.; POOVARODOM, S.; LEONTOWICZ, H.; LEONTOWICZ, M.; VEARASILP, S.; TRAKHTENBERG, S.; GORINSTEIN, S. The multiple nutrition properties of some exotic fruits: biological activity and active metabolites. **Food Research International**, v. 44, p. 1671-1701, 2011.

DEMIRAL, H.; DEMIRAL, I.; KARABACAKOGLU, B.; TÜMSEK, F. Production of activated carbon from olive bagasse by physical activation. **Chemical Engineering Research and Design**. v. 89, p. 206–213, 2011.

DIAS, A. C. B.; PAVAN, M. A.; MIYAZAWA, M.; ZOCOLER, D. C. Plant residues: short term effect on sulphate, borate, zinc and copper adsorption by an acid oxisol. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, São Paulo, v. 46, n. 2, p. 199-202, 2003.

DIAS, J. M.; ALVIM-FERRAZA, M. C. M.; ALMEIDA, M. F.; RIVERA-UTRILLA, J.; SÁNCHEZ-POLO, M. waste materials for activated carbon preparation and its use in aqueous-phase treatment: a review. **Journal of Environmental Management**, v. 85, p. 833–846. 2007.

FLORIDO, P. Avaliação de tecnologias visando reuso de efluentes: adsorção em carvão ativado. **Efluentes hídricos**: resultados em P&D, Gerencia de Biotecnologia e Tratamento Ambientais, Petrobras, Rio de Janeiro, n. 8, 2004.

GODECKE, M. V.; CHAVES, I. R.; NAIME, R. H. Gestão de resíduos sólidos urbanos no Brasil: o caso de Canoas, RS. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**. v.7, n. 7, p. 1430-1439, 2012.

GOLIN, D, M. **Remoção de chumbo de meios líquidos através de adsorção utilizando carvão ativado de origem vegetal e resíduos vegetais**. 111f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2007.

GONZALES, A. D. F.; VITAL, A. V. D.; LIMA, J. M.; RODRIGUES, M. B. S. Desenvolvimento sustentável para o resgate da cultura do cacau baseado no aproveitamento de resíduos. **Revista Interfaces Científicas - Saúde e Ambiente**, Aracaju, v.1, n.2, p. 41-52, fev. 2013.

GREGG, S. J.; SING, K. S. W. **Adsorption, Surface Area and Porosity**. Academic Press 2, London, p. 40-48, 1982.

IOANNIDOU, O.; ZABANIOTOU, A. Agricultural residues as precursors for activated carbon production: a review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. v. 11, p. 1966–2005. 2007

ISMADJI, S.; SUDARYANTO, S. Y.; HARTONO, S. B.; SETIAWAN, L. E. K.; AYUCITRA, A. Activated carbon from char obtained from vacuum pyrolysis of teak sawdust: pore structure development and characterization. **Bioresource Technolog.** v.96, p.1364–1369, 2005.

KUNZ, A.; PERALTA-ZAMORA, P. Novas tendências no tratamento de efluentes têxteis. **Revista Química Nova**, v. 25, n. 1, p. 78-82, 2002.

LEITE, L.A.S.; PESSOA, P.F.A.P. Aspectos sócio-econômicos. In: BARROS, L.M. (Ed) **Caju Produção: Aspectos técnicos**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica (Frutas do Brasil, 30), p. 15- 17, 2002

LEITE, L. A. de S. **A agroindústria do caju no Brasil: políticas públicas e transformações econômicas**. Fortaleza: EMBRAPA-CNPAT, 195 p., 1994.

LOPES, L. **Gestão e Gerenciamento Integrados dos Resíduos Sólidos Urbanos: alternativas para pequenos municípios**. 113f. Dissertação (Mestrado em Geografia Humana) – Universidade de São Paulo – USP, Departamento de Geografia. São Paulo-SP, 2006.

LOUSADA JÚNIOR, J. E.; COSTA, J. M. C.; NEIVA, J. M. N.; RODRIGUEZ, N. M. Caracterização físico-química de subprodutos obtidos do processamento de frutas tropicais visando seu aproveitamento na alimentação animal. **Revista Ciência Agronômica**, v.37, p. 70-76, 2006.

MACHADO, N. J.; CASADESI, S. R. **Seis Razões para Diminuir o Lixo no Mundo**. Escrituras: São Paulo-SP, 2007.

MAHAPATRAA, K.; RAMTEKE, D. S.; PALIWAL, L. J. Production of activated carbon from sludge of food processing industry under controlled pyrolysis and its application for methylene blue removal. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**. v. 95, p. 79-86, 2012.

MARTINS, C. R.; JESUS, L. A. de. **Evolução da produção de coco no Brasil e o comércio internacional: panorama 2010**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, (Documentos, 164), 2011.

MEZADRI, T.; FERNANDEZ-PACHON, M.S.; VILLANO, D. El fruto de la acerola: composición y posibles usos alimenticios. **Archivos Latinoamericanos de Nutrición**, v.56, n.2, p.101-109, 2006.

MEZADRI, T.; VILLAÑO, D.; FERNÁNDEZ-PACHÓN, M.; GARCÍA-PARRILLA, M.; TRONCOSO, A. Antioxidant compounds and antioxidant activity in acerola (*Malpighia emarginata* D.C.) fruits and derivatives. **Journal of Food Composition and Analysis**, v.21, n.4, p. 282-290, 2008.

MOREIRA. G. E. G.; COSTA. M. G. M.; SOUZA. A. C. R.; BRITO. E. S.; MEDEIROS. M. F. D.; AZEREDO. H. M.C. Physical properties of spray dried acerola pomace extract as affected by temperature and drying aids. **Food Science and Technology**, v. 42, p. 641–645, 2009.

MORENO-CASTILLA, C. Adsorption of organic molecules from aqueous solutions on carbon materials. **Carbon**, v.42, p. 83-94, 2004.

MOHAN, D.; PITTMAN JR., C. U. Activated carbons and low cost adsorbents for remediation of tri - and hexavalent chromium from water. **Journal of Hazardous Materials**. v.137, p. 762–811, 2006.

MUCCIACITO, J. C. Uso eficiente do carvão ativado como meio filtrante em processos industriais. **Meio Filtrante**, v. 39, 2006.

OLIVEIRA, V.H. **Cultivo do cajueiro anão precoce**. Fortaleza: EMBRAPA-CNPAT, 2002. 40p. (EMBRAPA-CNPAT. Sistema de produção, 1).

OLIVEIRA, V.H.; ANDRADE, A.P.S.; Produção integrada melhora a qualidade do caju. **Revista Agroanalysis**, São Paulo, v. 24, p. 28-29, 2004

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA AGRICULTURA E ALIMENTAÇÃO – FAO. Disponível em: <<https://www.fao.org.br/>> acesso em 30.01. 2014.

PELIZER, L. H.; PONTIERI, M. H.; MORAES, I. O. Utilização de Resíduos Agroindustriais em Processos Biotecnológicos como Perspectiva de Redução do Impacto Ambiental. **Journal Technology Management. Innovation**. v. 2, n. 1, p. 118-127, 2007.

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

PERERA, L.; RUSSELL, J.R.; PROVAN, J.; POWELL, W. Use of microsatellite DNA markers to investigate the level of genetic diversity and population genetic structure of coconut (*Cocos nucifera* L.). **Genome Montreal**, v. 43, p. 15-21, 2000.

PEREIRA, E.; OLIVEIRA, L. C. A; VALLONE, A.; SAPAG, K.; PEREIRA, M. 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.

PINTO, M. V. S.; SILVA, D. L.; SARAIVA, A. C. Obtenção e caracterização de carvão ativado de caroço de buriti (*Mauritia flexuosa* L. f.) para a avaliação do processo de adsorção de cobre (II). **Revista Acta Amazônica**. Manaus, v.43, n.1, Mar. 2012.

RIBEIRO, E. P.; SERAVALLI, E. A. G. **Química de alimentos**. 2. ed.. São Paulo: Edgar Blucher, p. 183, 2007.

RODRIGUEZ-REINOSO, F.; MARSH, H. **Activated Carbon**. Amsterdam: Elsevier, 554 f. 2006.

RODRIGUEZ, J.; MATEOS, J.; NUNGARAY, J.; GONZÁLEZ, V.; BHAGNAGAR, T.; ROUSSOS, S.; CORDOVA, J.; BARATTI, J. Improving lipase production by nutrient source modification using *Rhizopus homothallicus* cultured in solid state fermentation. **Process Biochemistry**, v. 41, n. 11, p. 2264-2269, 2006.

ROSSO, V. V. de; HILLEBRANDB, S.; MONTILLAB, E. C.; BOBBIO, F.O.; WINTERHALTERB, P.; MERCADANTE, A.Z. Determination of anthocyanins from acerola (*Malpighia emarginata* DC.) and açai (*Euterpe oleracea* Mart.) by HPLC–PDA–MS/MS. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 21, p. 291–299, 2008.

ROSSO, V. V. de; MERCADANTE, A. Z. Carotenoid composition of two Brazilian genotypes of acerola (*Malpighia puniceifolia* L.) from two harvests. **Food Research International**, v.38, n. 8-9, p. 1073-1077, 2005.

ROSSO, V. V. de; MERCADANTE, A. Z. The high ascorbic acid content is the main cause of the low stability of anthocyanin extracts from acerola. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 103, p.935–943, 2007.

SÁNCHEZ, L. H. **Avaliação de impacto ambiental: conceito e métodos**. Oficina de Textos. São Paulo, 2006.

SANTIAGO, B. H.S.; FRANÇA, G. H. C.; FERNANDES, R.; SELVAM, P. V. P. Estudo de viabilidade tecno-economica preliminar para produção de carvão ativado no Brasil a partir dos resíduos do coco: estudo comparativo de cenários de produção. **Revista Analytica**, São Paulo, n.17, p. 52-55, junho/jul. 2005.

SCHETTINO JUNIOR, M. A.; FREITAS, J. C. C.; CUNHA, A. G.; EMMERICH, F. G. Preparação e caracterização de carvão ativado quimicamente a partir da casca de arroz. **Química Nova**, São Paulo, v. 30, n. 7, p. 1663-1668, 2007.

SIQUEIRA, L. A.; ARAGÃO, W. M.; TUPINAMBÁ, E. A. **A introdução do coqueiro no Brasil, importância histórica e agrônômica**. Aracajú: EMBRAPA- Tabuleiros Costeiros, 2002, 24p. (Documentos, 47) Disponível em: <<https://www.embrapa.br/tabuleiros-costeiros>>. Acesso em: 23 set. 2013.

SOUSA, B. A. A.; CORREIA R. T. P. Biotechnological Reuse of Fruit Residues as Rational Strategy for Agro-industrial resources. **Journal of Technology Management and Innovation**. v.5, n.2, p. 1-9, 2010.

SOARES, A. G. **Adsorção de gases em carvão ativado de celulignina**. 136 f. Tese (Doutorado em Física) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2001.

SUGUMARAN, P.; SUSAN, V. P.; RAVICHANDRAN, P.; SESHADRI, S. Production and Characterization of Activated Carbon from Banana Empty Fruit Bunch and Delonix regia Fruit Pod. **Journal of Sustainable Energy & Environment**, Chennai, v. 3, p. 125-132, 2011.

CAPÍTULO II

CAPÍTULO 2

(artigo submetido à Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira –
PAB, ISSN 0100-204X)

Biomassa residual empregada na produção de carvão ativado

Ricardo Vandr  Tr tski Oliveira Silva⁽¹⁾, Valmir Rocha Cavalcante⁽¹⁾ e
Arminda Saconi Messias⁽²⁾

⁽¹⁾ Universidade Católica de Pernambuco - UNICAP, Mestrado em Desenvolvimento de Processos Ambientais, Rua do Príncipe, 526-Boa Vista, Bloco D, CEP 50050-900-Recife – PE, Brasil; email: vandretrotski@gmail.com; valmir.rocha@gmail.com; ⁽²⁾Profa Titular do Curso de Engenharia Ambiental da UNICAP, E-mail: saconi@unicap.br

Resumo – Com o crescimento das atividades industriais e da popula o, aumentam também a quantidade de resíduos gerados que ocasiona problemas ambientais. No Brasil, produtor de bens na agroindústria, os problemas causados pelo acúmulo e destina o inadequada dos resíduos sólidos   de grande porte. A partir dessa problemática são criados mecanismos que incentivam a reutiliza o e reciclagem dos resíduos.   buscando desenvolver tecnologia inédita de matérias-primas alternativas que se produziu carvão ativado a partir de resíduos de coco, acerola e caju. Primeiramente coletou-se a fibra-de-coco seco e bagaços/cascas de acerola e do caju para posterior prepara o desse material através da impregna o com ZnCl₂, da ativa o química e da realiza o de um teste de avalia o da eficiência do carvão. Foi produzido carvão ativado com todas as amostras, onde a aplica o na amostra de água coletada no rio Capibaribe (perto do túnel Chico Science), Recife, Pernambuco, apresentou redu o da turbidez em 97,3 %

usando o tratamento com 25 % de fibra-de-coco + 75 % de caju. Termos para indexação: agroindústria, ativação Química, adsorção, reaproveitamento de resíduos.

Residual biomass used in the activated carbon production

Abstract – With the growth of industrial activities and population, also increases the amount of generated waste which causes environmental problems. In Brazil, a major producer of goods in the agricultural industry, the problems caused by the accumulation and improper disposal of solid waste are large. From this problematic, mechanisms that encourage the reuse and recycling of waste are created. It is seeking to develop new technology of alternative raw materials that are produced activated carbon from coconut waste, barbados cherry and cashew. Primarily, the collection of fiber-to-dry coconut and cake/shells from barbados cherry and cashew for later preparation of this material by impregnation with $ZnCl_2$, chemical activation and conducting an evaluation test coal efficiency. The result, within all samples, was an activated carbon where the application in the water sample collected from the Capibaribe River (near Chico Science tunnel), Recife, presented a decrease in turbidity in 97.3% using treatment with 25% fiber- coconut + 75% cashew.

Index terms: agribusiness, chemical activation, adsorption, reuse of waste.

Introdução

O crescimento da população e o modelo de desenvolvimento proposto atualmente vêm acarretando vários problemas ambientais. Os resíduos sólidos são um dos fatores que provocam expressivamente os impactos ambientais e socioeconômicos no mundo (PINTO, 2012). O Brasil arrecada bilhões de reais da agricultura e a agroindústria, sendo um dos maiores responsáveis pela boa economia do país (ANUÁRIO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 2013). Mas também, são responsáveis por muitos danos ambientais, pois existe pouca preocupação do setor

na geração, tratamento e/ou destinação dos resíduos sólidos, na alta geração em termos quantitativos e na sua degradabilidade, que, em certos casos, é muito lenta e geram inúmeros subprodutos tóxicos, cumulativos ou de difícil degradação (GODECKE, CHAVES, NAIME, 2012).

Em 2010, o Brasil aprovou e sancionou a Lei 12.305/2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), que serve como instrumento para orientar as ações estratégicas na área ambiental nas questões dos resíduos sólidos, promovendo todo um sistema de controle e gerenciamento nas entidades federativas, estaduais e municipais. A PNRS é um dos mecanismos que incitam a reutilização, reaproveitamento e reciclagem dos resíduos gerados (BRASIL, 2010).

O carvão ativado, material carbonáceo e poroso preparado pela carbonização e ativação de substâncias orgânicas, principalmente de origem vegetal. É utilizado extensamente para a adsorção de poluentes em fases gasosas e líquidas, como suporte para catalisadores, na purificação de vários compostos líquidos ou gasosos, no tratamento de efluentes e de água (BRUM, 2008).

Os resíduos agroindustriais, apresentam-se como a fonte de matéria-prima renovável mais abundante encontrada na natureza (GONZALES et al., 2013) e após o processamento, apresentam maior valor agregado, principalmente em países de extensas produções, acreditando-se que o potencial de ganhos para a economia seja de grandes proporções (CASTRO; PEREIRA JR., 2010). Vários são os trabalhos que aproveitam os resíduos orgânicos como precursores do carvão ativado, apresentando um melhor custo/benéfico para a sua produção.

Nesse intuito, o objetivo desse artigo é produzir carvão ativado a partir de resíduos de coco, acerola e caju, visando à minimização de poluentes, estimulando o uso de fontes alternativas para a produção de carvão, contribuindo para a diminuição de custos e preservando o ambiente.

Material e Métodos

O experimento de produção de carvão ativado por resíduos de coco, acerola e caju é uma busca de precursores de carvão através dos resíduos agroindustriais. Uma série de trabalhos de pesquisas foi feita para selecionar os melhores materiais a partir dos melhores índices de compostos no carvão ativado usualmente usado. As melhores amostras foram trabalhadas por Macêdo (2012) em sua dissertação sobre a “Viabilidade da Produção de Carvão Ativado a Partir de Resíduos Alternativos”.

Do total de amostras trabalhadas por Macêdo (2012), foram retirados quatro tratamentos para a execução desse projeto. Dentre eles os que apresentaram maior poder calorífico foram os de 0% de fibra-de-coco + 100% de acerola (55-60 cal/g); 50% de fibra-de-coco + 50% de acerola (50-55 cal/g); 0% de fibra-de-coco + 100% de caju (65-70 cal/g) e 25% de fibra-de-coco + 75% de caju (60-65 cal/g).

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 caju e acerola (bagaço) foram adquiridos nas indústrias de processamento de polpas e sucos.

O experimento foi conduzido no Laboratório de Química Analítica, no 8º andar do Bloco D da Universidade Católica de Pernambuco, sendo realizado em etapas. Na primeira etapa, as amostras foram secas ao ar livre e trituradas, em triturador tipo forrageiro, no Instituto Agrônomo de Pernambuco - IPA, sendo peneiradas em peneiras de 60 mesh e 14 mesh respectivamente, para obtenção de uma granulometria uniforme.

Na segunda etapa, para a produção do carvão ativado, 10 gramas de cada amostra recebeu tratamento de impregnação com $ZnCl_2$ (cloreto de zinco) na proporção de 1:1 (mistura do

resíduo/ $ZnCl_2$), utilizando-se o almofariz e pistilo para moer o material, e colocados em estufa a $100^\circ C$ por 24 horas (RAMOS et al., 2009).

Em seguida as amostras postas em cadinho de porcelana foram ativadas usando um forno mufla, modelo LF00613, elevando-se a temperatura até $550^\circ C$, a uma taxa de $15^\circ C \text{ min}^{-1}$, mantendo a temperatura durante 1 hora, sob gás inerte com fluxo de 100 ml/min^{-1} de N_2 . Depois de retirado da mufla e resfriado naturalmente, a lavagem das amostras do carvão ativado produzido foi feita com HCl/H_2O (solução de ácido clorídrico a 50%), com filtração, sucessivas vezes até a estabilização do pH próximo de 7. Todos esses procedimentos foram feitos com cinco repetições de cada amostra trabalhada.

Na terceira etapa, 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 (perto do túnel Chico Science), município de Recife, estado de Pernambuco, Brasil, com as seguintes características: pH: 7,14; turbidez: 10,64 NTU; condutividade elétrica: $8032 \mu S$. A mistura ocorreu em dois tempos seguidos T1 e T2. No T1 a rotação utilizada foi de 150 rpm, durante 15 segundos; e na T2 a rotação foi de 25 rpm durante 15 minutos. Depois 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 três mL de sulfato de alumínio por litro de água (usado nas Estações de Tratamento de Água – ETA's) nas mesmas condições experimentais.

As determinações realizadas foram de pH, turbidez e condutividade elétrica, utilizando-se os métodos ASTM D1293-12 (ASTM, 2012), ASTM D6698-14 (ASTM, 2014), ASTM D1125-14 (ASTM, 2014) respectivamente. Os dados obtidos para pH, turbidez e condutividade elétrica foram submetidos à análise estatística, gerando gráficos tipo Box Plot usando o software Statistic 7.0.

Resultados e Discussão

Observa-se estatisticamente (Figura 1) o comportamento do pH da água antes (1) e depois dos tratamentos com sulfato de alumínio (2) e carvões ativados (3,4,5,6). Mesmo não apresentando diferença significativa entre todas as médias de pH, nota-se que a água ficou levemente alcalina nos tratamentos 50C50A, 0C100A, 25C75C, 0C100C. Em um dos seus experimentos, Francisco (2008) encontrou pH entre 6 e 7 nos tratamentos de água tratada usando carvão ativado comercial, e depois do processo de adsorção, concluiu que não houve variação significativa no pH em relação a água inicial. Também, Silva et al. (2012) relatam comportamento semelhante em seus experimentos com carvão ativado comercial granular, onde o pH não costuma variar significante entre adsorbato e adsorvente.

Souza et al. (2009) encontraram os melhores valores de remoção Cr (VI) nos experimentos com pH ácido (entre 3,0 e 6,0). Isso demonstra que o pH do adsorbato em carvões ativados é um importante parâmetro para se analisar, dependendo do seu objetivo.

Contudo, para adsorção de água o pH deve estar próximo do neutro, pois segundo o CONAMA n. 357 (2005) para águas doces o pH pode variar entre 6 até 9. Também, segundo Silva et al. (2008) o pH entre 6 e 9 é ideal para influenciar nos ecossistemas aquáticos naturais devido a seus efeitos na fisiologia de diversas espécies, para que se conserve a vida aquática.

Observa-se, na Figura 2, uma diferença significativa na redução de turbidez da água depois dos tratamentos. A eficiência de remoção de turbidez alcançou mais de 95% em todos os tratamentos, principalmente nos tratamentos com caju: 250C750 (5) e 0C100C (6) com 96,8% e 96,5% respectivamente.

Na Figura 3, percebe-se que o 0C100C (6) mesmo possuindo a melhor redução da turbidez na haste inferior (valor mínimo das cinco repetições) não demonstrou a melhor média

de redução. Isso ocorre também com o tratamento com resíduo de caju (25C75C), pois seus resultados são mais discrepantes entre valor máximo e mínimo.

Nos tratamentos com resíduos de coco e de acerola, o 50C50A (3) os resultados demonstram que a adição de 50% de resíduo de coco na mistura, resultou em uma diferença significativa em relação ao 0C100A (4). Por não obter valores diferentes nas suas cinco repetições, 50C50A (3) possui a menor média entre os tratamentos e alcança 97% de remoção da turbidez em comparação com a água bruta. Estes resultados estão de acordo com Silva et al. (2012) que trabalhando com adsorção em carvão ativado comercial granular, encontraram remoção de turbidez acima dos 95% em três ensaios experimentais para águas de reservatórios.

Em um experimento semelhante, Selhorst Filho et al. (2011) na otimização de parâmetros de clarificação de água do sistema de tratamento de Ponta Grossa (PR), trabalharam adsorção de água em carvão ativado comercial e encontrou remoção de 88% da turbidez.

Analisando os resultados da Figura 4 que representa o gráfico de condutividade elétrica, observa-se em três tratamentos (4, 5 e 6) valores com grandes variações entre os valores mínimos (haste inferior) e máximos (haste superior). Atenção no tratamento 25C75C (5) que apresenta valor mínimo (haste inferior) menor que 7000 μ S, e 9,5% de remoção dos sais.

Esse resultado sobressai do tratamento com sulfato de alumínio (2) que apresenta 8,13% de remoção. Mierzwa et al. (2008) apresentam remoção de 5,6% de condutividade elétrica em seu trabalho sobre sistema convencional com carvão ativado.

Conclusões

De acordo com os resultados obtidos conclui-se que:

- 1) O uso de resíduos de caju e acerola são promissores na preparação de carvão ativado;
- 2) O carvão ativado do caju apresentou melhor resultado nos parâmetros avaliados;

- 3) Há possibilidade de substituir o sulfato e alumínio pela relação 25% de fibra-de-coco + 75% de caju.

Agradecimentos

À CAPES, à UNICAP, à FIUC e aos demais colaboradores desse trabalho.

Referências

ANUÁRIO BRASILEIRO DA FRUTICULTURA. Santa Cruz do Sul: **Gazeta Santa**

Cruz, p. 128, 2013.

ASTM – AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS: D1293-12, **Standard Test Methods for pH of Water**, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2012

ASTM – AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS: D6698-14, **Standard Test Method for On-Line Measurement of Turbidity Below 5 NTU in Water**, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2014.

ASTM – AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS: D1125-14, **Standard Test Methods for Electrical Conductivity and Resistivity of Water**, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2014

BRASIL. **Lei nº 12.305**, de 2 de agosto de 2010. Política Nacional de Resíduos Sólidos. 2010.

BRUM, S. S.; BIANCHI, M. L.; SILVA, V. L.; GONÇALVES, M.; GUERREIRO, M. C.; OLIVEIRA, L. C. A. Preparação e caracterização de carvão ativado produzido a partir de resíduos do beneficiamento do café. **Química Nova**. Lavras. v. 31, n. 5, p. 1048-1052, 2008

CASTRO, A. M.; PEREIRA JR., N. Produção, propriedades e aplicação de celulases na hidrólise de resíduos agroindustriais. **Revista Química Nova**. V. 33, n.1, p. 181-188, São Paulo, 2010.

FRANCISCO, B. D. L. R. **Avaliação de filtro domiciliar de carvão ativado impregnado com prata na remoção de clorofórmio presente na água tratada.** 2008. 92 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Ribeirão Preto, UNAERP, Ribeirão Preto,

GODECKE, M. V.; CHAVES, I. R.; NAIME, R. H. Gestão de resíduos sólidos urbanos no Brasil: o caso de Canoas, RS. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental.** v.7, n. 7, p. 1430-1439, 2012.

MACÊDO, L.; P.; M.; P. de. **Viabilidade da produção de carvão ativado a partir de resíduos alternativos.** 92 f. 2012. Dissertação (Mestrado) – Universidade Católica de Pernambuco, Recife, Pernambuco.

PINTO, M. V. S.; SILVA, D. L.; SARAIVA, A. C. Obtenção e caracterização de carvão ativado de caroço de buriti (*Mauritia flexuosa* L. f.) para a avaliação do processo de adsorção de cobre (II). **Revista Acta Amazônica.** v. 43, n.1, Manaus, Mar. 2013.

RAMOS, P.; H.; GUERREIRO, M.; C.; RESENDE, E.; C.; GONÇALVES, M. Produção e caracterização de carvão ativado produzido a partir do defeito preto, verde, ardido (pva) do café. *Quim. Nova*, v. 32, n. 5, p. 1139-1143, 2009

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

SILVA, A. E. P.; ANGELIS, C. F.; MACHADO, L. A. T.; WAICHAMAN, A. V. Influência da precipitação na qualidade da água do Rio Purus. **Revista Acta Amazonica.** n. 4, v. 38, p. 733 – 742, 2008.

SILVA, G. G.; NAVAL, L. P.; DI BERNARDO, L. DANTAS, A. D. B. Tratamento de água de reservatórios por dupla filtração, oxidação e adsorção em carvão ativado granular. **Eng Sanit Ambient.** v.17, n.1, p. 71-80. 2012.

SOUZA, R. S.; CARVALHO, S. M. L.; GARCIA JÚNIOR, M. R. L.; SENA, R. S. F. Adsorção de cromo (VI) por carvão ativado granular de soluções diluídas utilizando um sistema batelada sob pH controlado. *Revista Acta Amazonica*. v. 39, n. 3, p. 661- 668. 2009.

Tabela 1. As misturas das amostras foram feitas obedecendo à relação percentual

Relação percentual coco + resíduo	Legenda
0% de fibra-de-coco + 100% de acerola	0C100A
50% de fibra-de-coco + 50% de acerola	50C50A
0% de fibra-de-coco + 100% de caju	0C100C
25% de fibra-de-coco + 75% de caju	25C75C

Fonte: MACEDO (2012)

Figura 1. Gráfico Box plot de pH x tratamentos

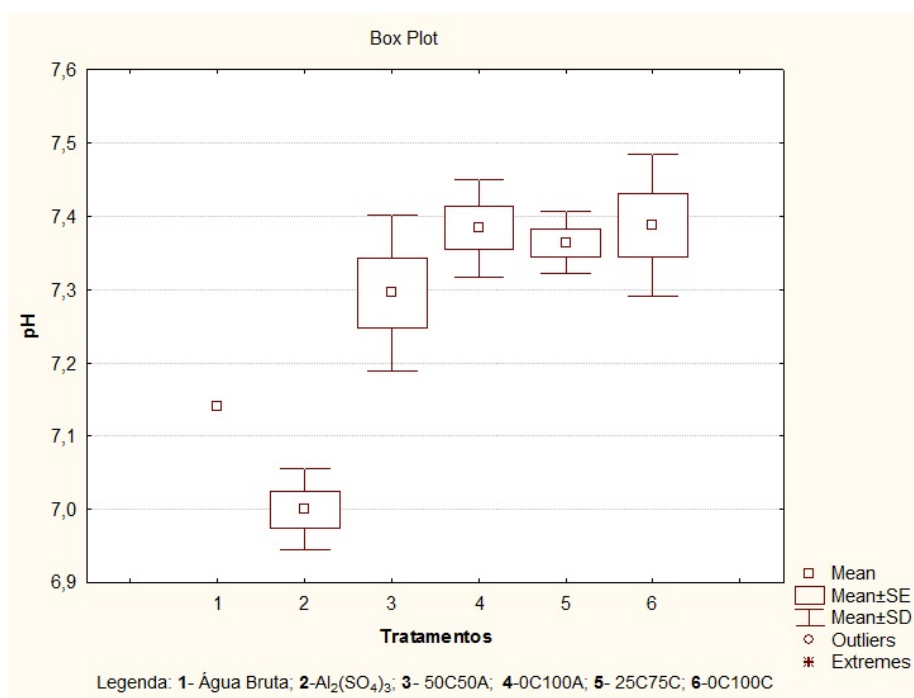


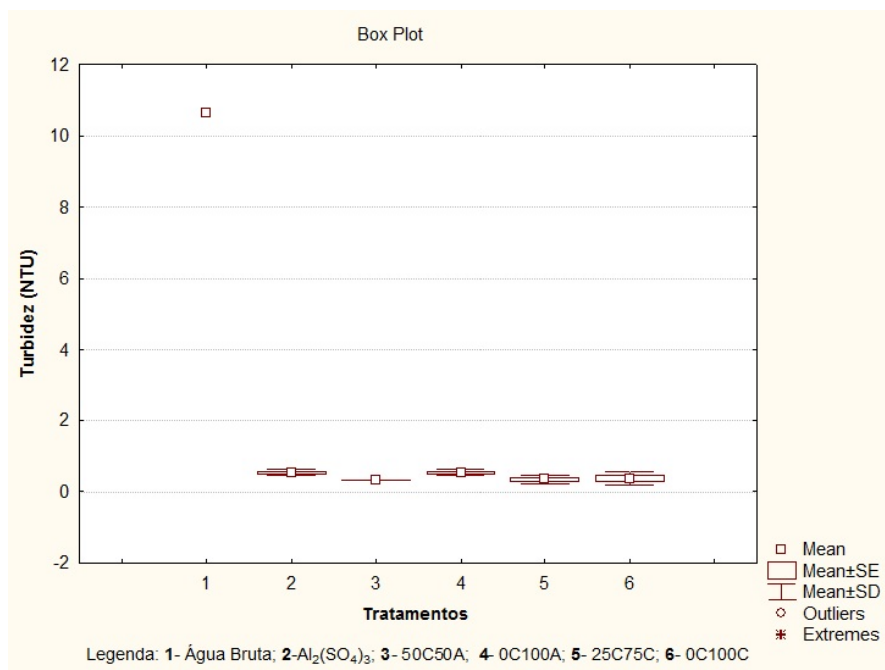
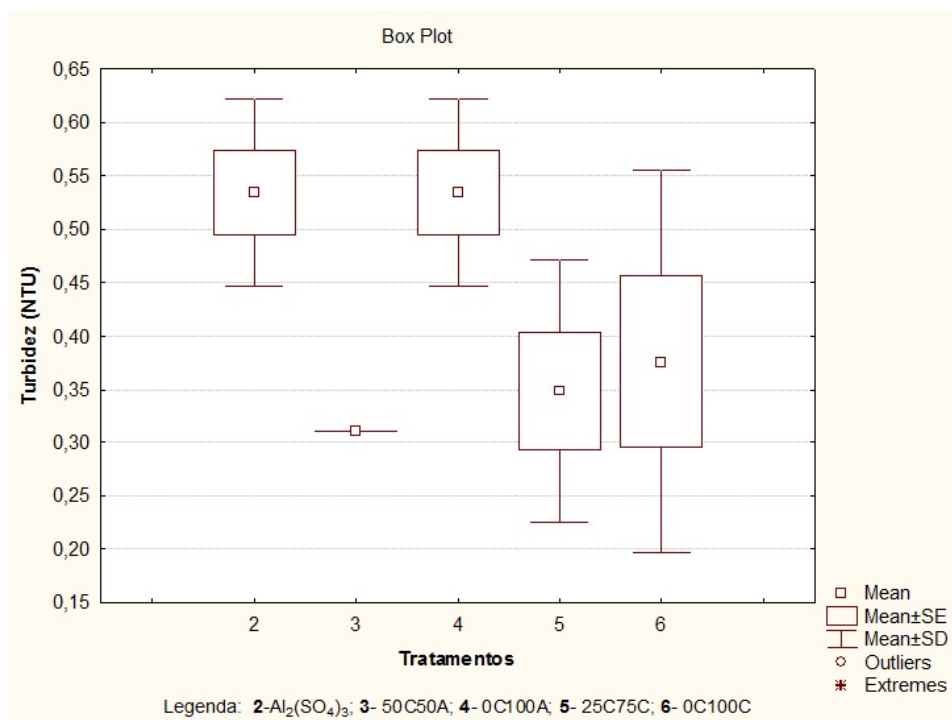
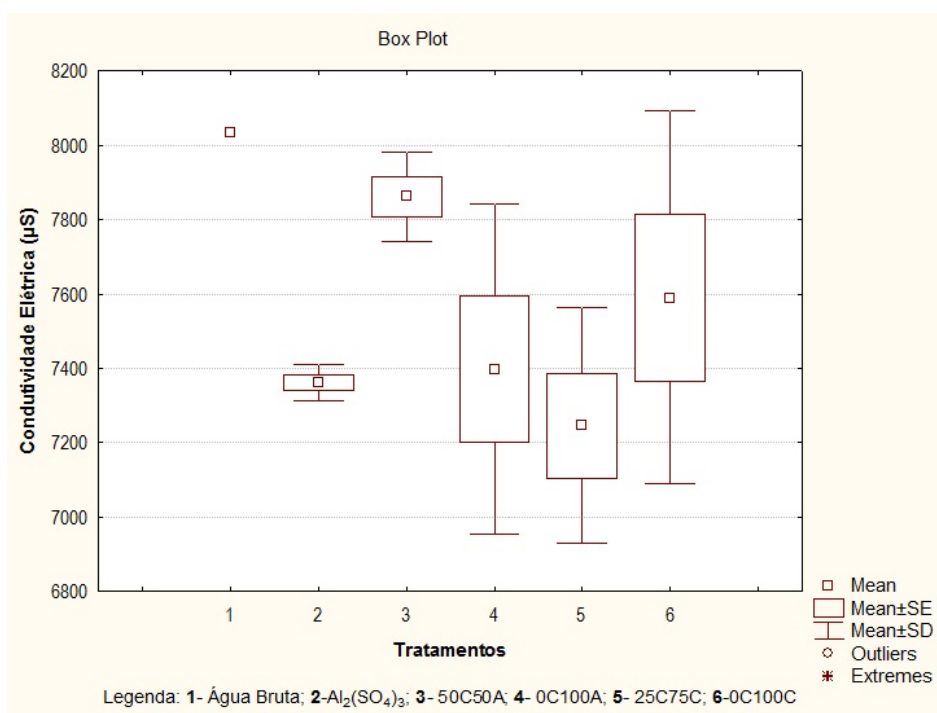
Figura 2. Gráfico do tipo Box Plot turbidez**Figura 3.** Gráfico tipo Box Plot da turbidez x tratamentos

Figura 4. Gráfico Box Plot de condutividade elétrica x tratamentos

CAPÍTULO III

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os estudos e pesquisas desse trabalho só adicionam mais legitimidade no potencial da biomassa, principalmente os resíduos agroindustriais trabalhados no emprego deles na produção de carvão ativado. Reduzindo os custos da matéria-prima já utilizada e abrindo um maior leque em diversas pesquisas sobre os resíduos do coco, acerola e caju.

Há necessidade de se determinar outros parâmetros químicos e microbiológicos a fim de se obter resultados mais consistentes em relação à possível substituição do sulfato de alumínio das ETA's.

ANEXOS

A1 – Valores de pH, Turbidez e Condutividade elétrica-CE de todos os tratamentos

TRATAMENTOS	REPETIÇÕES	pH	TURBIDEZ (NTU)	CE (μ S)
ÁGUA BRUTA	1	7,14	10,64	8032
SULFATO DE ALUMÍNIO	2	6,99	0,63	7310
	2	6,95	0,63	7310
	2	7,09	0,47	7420
	2	7,01	0,47	7390
	2	6,96	0,47	7380
50C50A	3	7,16	0,31	7960
	3	7,21	0,31	7980
	3	7,36	0,31	7680
	3	7,41	0,31	7840
	3	7,34	0,31	7850
0C100A	4	7,34	0,47	7540
	4	7,35	0,47	7820
	4	7,45	0,63	6910
	4	7,32	0,63	7780
	4	7,46	0,47	6940
25C75C	5	7,38	0,18	7020
	5	7,33	0,47	7180
	5	7,41	0,31	7800
	5	7,31	0,31	7060
	5	7,39	0,47	7170
0C100C	6	7,22	0,16	7110
	6	7,42	0,47	7080
	6	7,47	0,31	7991
	6	7,43	0,31	7680
	6	7,40	0,63	7810