



UFPB – Universidade Federal da Paraíba
CTDR – Centro de Tecnologia e Desenvolvimento Regional
DTS – Departamento de Tecnologia Sucroalcooleira



TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CARVÃO ATIVADO A PARTIR DO BAGAÇO DE CANA DE AÇÚCAR

Renato Ribeiro da Silva

**Orientadora: Profa. Dra. Danielle
Christine Almeida Jaguaribe**

**Coorientador: Prof. Dr. Emerson
Freitas Jaguaribe**

Agosto 2014



UFPB – Universidade Federal da Paraíba
CTDR – Centro de Tecnologia e Desenvolvimento Regional
DTS – Departamento de Tecnologia Sucoalcooleira



TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CARVÃO ATIVADO A PARTIR DO BAGAÇOD E CANA DE AÇÚCAR

Renato Ribeiro da Silva

Trabalho de Conclusão do Curso de Tecnologia Sucoalcooleira no Centro de Tecnologia e Desenvolvimento Regional da Universidade Federal da Paraíba, como requisito para Graduação em Tecnologia Produção Sucoalcooleira.

Orientadora: Profa. Dra. Danielle
Christine Almeida Jaguaribe

Coorientador: Prof. Dr. Emerson
Freitas Jaguaribe

Agosto 2014

S586c Silva, Renato Ribeiro da.

Carvão ativado a partir do bagaço de cana de açúcar. [recurso eletrônico] / Renato Ribeiro da Silva. -- 2015.

45 p. : il. color. + CD.

Sistema requerido: Adobe Acrobat Reader.

Orientador: Dra. Danielle Christine Almeida Jaguaribe.

Coorientador: Dr. Emerson Freitas Jaguaribe.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação - Tecnologia em Produção Sucoalcooleira) – CTDR/UFPB.

1. Carvão ativado. 2. Bagaço de cana-de-açúcar. 3. Adsorvente. I. Jaguaribe, Danielle Christine Almeida. II. Jaguaribe, Emerson Freitas. III. Título.

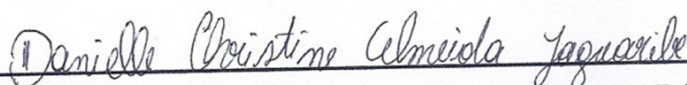
CDU: 661.183.2

RENATO RIBEIRO DA SILVA

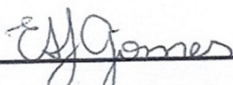
CARVÃO ATIVADO A PARTIR DO BAGAÇO DE CANA DE AÇÚCAR

TCC aprovado em 19/08/14 como requisito para a conclusão do curso de Tecnologia em Produção Sucroalcooleira da Universidade Federal da Paraíba.

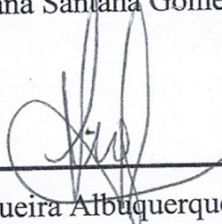
BANCA EXAMINADORA



Profª. Dra. Danielle Christine Almeida Jaguaribe (CTRD/UFPB – Orientadora)



Profª. Dra. Erika Adriana Santana Gomes (CTDR/UFPB – Docente DTS)



Profª. Dra. Liana Filgueira Albuquerque (CTDR/UFPB – Docente DTS)

DEDICATÓRIA

Dedico esta minha conquista ao meu grande e poderoso Deus, a minha esposa (Rivania de Sousa Barros da Silva), aos meus familiares, colegas e amigos.

AGRADECIMENTO

Agradeço primeiramente a Deus, pela inteligência e sabedoria no decorrer desta minha longa jornada.

A minha esposa (Rivania), que passou algumas noites mal dormidas enquanto eu estudava para provas, fazia os seminários ou trabalhos acadêmicos durante a madrugada.

Agradeço aos professores e ex-professores, quer seja deste departamento (CTDR) e dos outros departamentos que passaram na minha vida acadêmica e que desde o início me encorajaram e me deram forças mostrando que esta era uma ótima oportunidade, que o caminho não seria fácil, mas que valeria muito a pena chegar ao final. Ao longo dos períodos cada um contribuiu compartilhando um pouco de sua sabedoria e experiência, para que eu hoje pudesse chegar aqui e dizer que valeu a pena todos os instantes em que eu entrei na sala de aula depois de um longo dia de trabalho e ouvi o que os mestres e doutores tinham a dizer a cada aula.

Agradecimento especial a Profa. Dra. Danielle Jaguaribe e ao Prof. Dr. Emerson Jaguaribe que me orientaram e me direcionaram para a realização deste TCC.

Muito obrigado excelentíssimas Dras. Liana Albuquerque e Erika Gomes, por fazer parte da banca de avaliação.

A todos os colegas que começaram esta caminhada junto comigo, alguns tiveram um pequeno atraso e ainda estão chegando aqui, outros preferiram se aventurar em outras áreas, outros optaram por dar um tempo devido às circunstâncias adversas e principalmente aos colegas Jorge Flavio e Sérgio Silva, que lutaram comigo, para hoje poder celebrar esta conquista, fechar este ciclo e poder dar início a muitos outros que virão.

Ao meu pai (Antônio Silva) e aos meus irmãos que me entenderam que durante as férias não era possível ir visitá-los, pois estava envolvido com os trabalhos acadêmicos.

Ao meu grande amigo Emerson Oliveira, que muitas vezes ficou no meu plantão enquanto eu fazia as provas ou apresentava alguns seminários.

Aos meus coordenadores, Harrison Correia e Erida Santos, que me apoiaram e ajudaram para que eu pudesse concluir meu curso.

Enfim, agradeço a todos que de alguma forma direta ou indireta participaram de alguma forma para a conquista deste sonho. Meu muito obrigado de coração e que o meu Deus abençoe a todos.

SUMÁRIO

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS	9
LISTA DE FIGURAS	11
LISTA DE TABELAS	12
RESUMO	13
ABSTRACT	14
1 INTRODUÇÃO	14
2 OBJETIVOS	16
2.1. Objetivos Gerais	16
2.2. Objetivos Específicos	16
3 DESENVOLVIMENTO.....	17
3.1. Laboratório de Carvão Ativado (LCA).....	17
3.2. Atividades Realizadas no LCA	18
3.3. Principais Equipamentos do LCA	19
4 METODOLOGIA	23
4.1. Preparação do Precursor	23
4.2. Características Físicas e Químicas do CA	23
4.3. Matéria Prima.....	24
4.3.1. O Bagaço de Cana-de-Açúcar	24
4.4. Parâmetro de Adsorção	24
4.4.1. Carbonização	25
4.4.2. Ativação	25
4.4.3. Modelos Cinéticos	25
4.4.4. Efeito do pH	26
4.4.5. Isotermas de Adsorção	26
4.5. Efeito da Qualidade de Adsorvente	27
5 RESULTADOS E DISCURSÃO.....	28
5.1. Ativação Química e Física do CA.....	28
5.1.1. Ativação Química do CA	28
5.1.2. Ativação Física do CA	29
5.2. As Diferentes Formas de Encontrar o CA.....	29
5.2.1. Carvão Ativado Pulverizado (CAPU).....	30

5.2.2.	Carvão Ativado Granulado (CAG)	31
5.2.3.	Carvão Ativado Peletizado (CAPE).....	31
5.3.	Utilização do CA Para o Transporte de Gás Natural	32
5.4.	Tratamento de Poluentes do Setor Petrolífero com CA.....	36
5.5.	Remoção de Substâncias com o Uso do CA	37
5.6.	Utilização do CA Para o Abrandamento da Água	38
5.7.	Tratamento de Efluentes de Indústria Têxteis com CA	39
5.8.	Tratamento da Vinhaça com CA	40
6	CONCLUSÃO	44
7	SUGESTÃO PARA PRÓXIMOS TRABALHOS	45
8	REFERÊNCIAS.....	47

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AM: Área de Microporos

CA: Carvão Ativado

CAs: Carões Ativados

CAG: Carvão Ativado Granulado

CAPE: Carvão Ativado Peletizado

CAPU: Carvão Ativado Pulverizado

Ce: Concentração do adsorbato no equilíbrio

CFB: Carvão Ativado do Bagaço de Cana

CFC: Carvão Ativado do Endocarpo do Coco

CT: Centro de Tecnologia

CTDR: Centro de Tecnologia Desenvolvimento Regional

d: densidade

DEQ: Departamento Químico

DQO: Demanda Química de Oxigênio

dq_t: Variação da adsorção por determinado tempo

DTS: Departamento de Tecnologia Sucroalcooleira

GN: Gás Natural

GNA: Gás Natural Adsorvido

GNC: Gás Natural Comprimido

GNL: Gás Natural Líquido

JICA: Japan International Cooperation Agency

K₁: Constante de adsorção de primeira ordem

K₂: Constante de adsorção de segunda ordem

K_L: Constante de Langmuir

K_F: Constante de Freundlich

LCA: Laboratório de Carvão Ativado

log: Logaritmo

n: Constante da equação de Freundlich

Q₀: Constante da equação de Langmuir

q_e: Quantidade adsorvida no equilíbrio

q_t: Quantidade adsorvida no instante t

t: tempo

TCC: Trabalho de Conclusão de Curso

UFCE: Universidade Federal do Ceará

UFPB: Universidade Federal da Paraíba

UFPE: Universidade Federal de Pernambuco

UFRN: Universidade Federal do Rio Grande do Norte

VM: Volume de Microporos

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Bagaço de cana	17
Figura 2 - Endocarpo do coco.....	17
Figura 3 - Gasodutos no Brasil	18
Figura 4 - Forno elétrico rotativo, Caldeira e Dewar de Nitrogênio	19
Figura 5 - Forno de micro-ondas com controle de rampa de temperatura.....	20
Figura 6 - Prensa 18 toneladas.....	20
Figura 7 - Prensa Manual	21
Figura 8 - Banho-maria com agitador Dubnoff	21
Figura 9 - Estufa elétrica Quimis	22
Figura 10 - Porosímetro ASAP 2010	22
Figura 11 - Termobalança da Shimadzu	22
Figura 12 - Bagaço de cana secando ao ar ambiente	23
Figura 13 - Bagaço de cana antes e depois da pirólise.....	28
Figura 14 - Grão de Carvão após a ativação.....	29
Figura 15 - Carvão Ativado Peletizado	30
Figura 16 - Carvão Ativado Pulverizado.....	30
Figura 17 - Carvão Ativado Granulado.....	31
Figura 18 - Carvão Ativado Peletizado	31
Figura 19 - Transporte do GNC.....	32
Figura 20 - Transporte do GNL	33
Figura 21 - Armazenamento do GN no CA para o transporte	33
Figura 22 - Adsorção de substâncias indesejáveis no CA	38
Figura 23 - Classificação dos poros do CA	39
Figura 24 - Efluentes de indústria têxteis sem tratamento	40
Figura 25 - Resíduos da produção de etanol (Vinhaça)	41
Figura 26 - Vinhaça após tratamento	42
Figura 27 - Represa de abastecimento de água do estado de São Paulo	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Parâmetros de ativação e características textuais dos CA avaliados	34
Tabela 2_ Capacidade adsorptiva mássica do metano em CA	35
Tabela 3 - Comparação de adsorção do GN e Metano puro em CA com pressão de 4,14 MPa.....	35
Tabela 4 - Comparação do CA do Bagaço de cana e Endocarpo do coco	36
Tabela 5 - Resultados obtidos com a filtração da água usando o CA	39
Tabela 6 - Tratamento Vinhaça usando CA e coagulante CaO	41
Tabela 7 - Tratamento vinhaça usando CA e coagulante Al_2SO_4	41
Tabela 8 - Tratamento vinhaça com CA e coagulante $FeCl_3$	42

RESUMO

Várias linhas de pesquisas, trabalhos publicados em congressos, teses de doutorados e pós-doutorados e dissertações de mestrados foram realizadas no Laboratório de Carvão Ativado (LCA) da UFPB, sobre a produção do carvão ativado ou sua utilização para remoção dos componentes indesejados.

Devido à questão da sustentabilidade, as indústrias e empresas estão buscando alternativas para melhorias nos processos de produção e/ou tratamento dos seus resíduos, daí o motivo da busca pelo carvão ativado que está assumindo bem este papel.

Diversos materiais podem ser insumos para a produção do carvão ativado, tais como, madeira, casca de coco, grão de café, carvões minerais, bagaço de cana-de-açúcar e vários outros materiais à base de carbono orgânico.

Neste trabalho foi abordado como é produzido o carvão ativado a partir do bagaço de cana de açúcar e como ocorre sua ativação, tanto no processo físico ou químico.

Palavras Chave: Carvão Ativado, Bagaço Cana-de-Açúcar, Adsorção.

ABSTRACT

Several lines of research, published papers in events and conferences, doctoral, post-doctoral theses and master degree dissertations, were performed in the Laboratory of Activated Carbon (LCA) of UFPB, due to the production of activated carbon and their use for removing undesirable components, and natural gas storage.

Because the issue of sustainability, industries and companies are seeking for new alternatives in order to improve operating processes and reduce the waste. Activated carbon is a good candidate, for assuming this purpose very well.

Various materials can be used for the production of activated carbon, such as, wood, coconut shell, coffee grain, corn, mineral coal, sugar cane bagasse and various other materials based on carbon.

In this paper we show how is the production of activated carbon from sugar cane bagasse and its activation that occurs either in the physical or chemical process. Optimizing the process in the sugar cane plants, as minimizing their waste of this sub-product.

Keywords: Activated Carbon, Sugar Cane Bagasse, Adsorption.

1 INTRODUÇÃO

Este Trabalho de Conclusão de Curso é uma revisão sistemática ou bibliográfica de trabalhos, artigos, dissertações e teses referentes ao Carvão ativado (CA) a partir do bagaço de cana de açúcar, embora outras matérias também possam ser utilizadas como insumos para a produção do mesmo.

CA é o nome de um grupo de carbonos que se caracterizam por possuírem uma estrutura porosa bem desenvolvida e uma superfície interna elevada. A preparação do carvão é feita por tratamento de precursores carbonizados com gases oxidantes, ou por carbonização de materiais ricos em carbonos, empregando agentes químicos desidratantes, em condições adequadas para o desenvolvimento da porosidade (MORENO-CASTILLA, 2004).

A adsorção baseia-se no princípio de que uma superfície sólida, em contato com uma solução tem a tendência de acumular uma camada de moléculas de soluto devido ao desequilíbrio das forças superficiais existentes, onde estas seções imperfeitas de lamelas de grafite de tamanho reduzido, dobradas, e com vários defeitos estruturais. As lamelas ligam-se umas às outras, formando uma rede tridimensional, e o espaço entre elas dá origem ao carvão (JAGUARIBE; MEDEIROS, 2005). O CA é um excelente candidato devido à sua porosidade, massa específica, boa estabilidade, disponibilidade e baixo custo (JAGUARIBE; *et al*, 2005). Sua área superficial e volume de microporos, além de uma boa distribuição de poros, torna este grupo de adsorventes, adequado para uma variedade de aplicações neste sentido, como separação, purificação de gases e sistemas de estocagem GNA, segundo (SEM; WEBLEY, 2010). Além disso, pode ser utilizado como catalizador e suporte para catalizadores.

Diante de vários trabalhos de pesquisas realizadas no Laboratório de Carvão Ativado (LCA) da UFPB que tem uma vasta experiência neste quesito desde 1995. As primeiras pesquisas para a produção do CA foram realizadas utilizando como insumos o bagaço de cana-de-açúcar e endocarpo do coco da baía (vulgarmente conhecido como quenga de coco). Na dissertação de Mestrado de Oliveira (2004) da UFPE em parceria com o LCA da UFPB, que para resolver o transporte do gás natural para as regiões que não são atendidas pelo gasoduto, seria preciso encontrar uma forma de armazenar o mesmo para um transporte seguro, assim a utilização do CA foi uma ótima solução, visto que o CA produzido a partir do bagaço de cana fez bem este papel de acordo com os ensaios e testes realizados, pois sua adsorção demonstrou ser eficiente no processo. Também no LCA foram desenvolvidos trabalhos de produção de CA, em forma de pastilha (JAGUARIBE; *et al*, 2005), o CA foi testado em parceria com o Laboratório de Processos Catalíticos da UFPE, explorando a viabilidade técnica do uso deste material em sistemas Gás Natural Adsorvido (GNA), concluindo-se que a relação volume de armazenamento por volume poroso de carvão é excelente, uma vez que seu volume específico está acima de 0.5 g/m^3 segundo (SOUSA, 2007; REINOSO; *et al*, 2005 apud MEIER, 2011). No artigo citado na reunião anual da Sociedade Brasileira de Química, de acordo com Borba; *et al*, (2009), o CA teve a finalidade de adsorção dos poluentes dos efluentes das indústrias no setor petrolíferos para minimizar os

impactos ambientais. A remoção dos contaminantes mesmo em baixas concentrações obteve sucesso. No artigo citado na XLVI Congresso Brasileiro de Química, de acordo com Jaguaribe; *et al*, (2006), o CA fora utilizado para o abrandamento da água. Os sais responsáveis pela dureza como o Cálcio e o Magnésio foram eliminados com a utilização do CA, que mostrou um grau considerável de adsorção com a eliminação em até 74% da dureza total. Na publicação da Revista e Portal Meio Filtrante, de acordo com Mucciccito; *et al*, (2009), o CA foi utilizado para remover substâncias orgânicas no tratamento do ar, remove substâncias nocivas e produtos indesejáveis. Nos resíduos industriais das indústrias farmacêuticas, indústria química. No tratamento de efluentes e na indústria alimentícia tem um papel importante, adsorvendo moléculas que causam gosto, cor e odores indesejáveis. No artigo citado no Encontro de Divulgação Científica e Tecnologia, de acordo com (MEIER; MATTJIE, 2011), o CA foi usado para o tratamento dos efluentes das indústrias têxteis com excelentes resultados, porque além da remoção da cor removeu a toxicidades do mesmo, um dos principais problemas para o meio ambiente. No artigo citado no Encontro Nacional de Educação, Ciências e Tecnologia / UEPB, de acordo com (LIMA; *et al*, 2012), o CA fora utilizado para o tratamento da vinhaça, com ótimos resultados, onde a remoção da cor e turbidez chegou a 99%, para além da remoção de outras impurezas com índices de 90%.

O objetivo final deste estudo é investigar a possibilidade da utilização do CA, a partir do bagaço de cana, para o branqueamento do caldo de cana para a produção de açúcar, substituindo os tratamentos químicos que envolvam o processo nos dias de hoje que deixam resíduos químicos no produto final.

O presente Trabalho de Conclusão de Curso esta dividido em oito capítulos da seguinte forma:

- Introdução (inclusa nesta parte).
- Objetivos.
- LCA (Laboratório de Carvão Ativado).
- Metodologia.
- Resultados e Discursão.
- Conclusão.
- Referências
- Sugestão para o próximo Trabalho.

2 OBJETIVOS

2.1. Objetivos Gerais

O presente trabalho tem por objetivo avaliar o desempenho do CA produzido principalmente a partir do bagaço de cana, e a sua utilização em diversas áreas como: na indústria química, farmacêutica, petroquímica, têxteis, entre outras.

O LCA da UFPB se encontra em destaque na produção do mesmo, e tem diversos artigos, dissertações, teses e pesquisas realizadas mostrando as mais diversas formas de atuação do CA com as mais variadas funções.

2.2. Objetivos Específicos

- ✓ A produção do CA pela via física e química.
- ✓ A utilização do CA para o transporte de gás natural.
- ✓ A produção do CA em forma de pastilhas.
- ✓ A utilização do CA para o tratamento dos poluentes das indústrias petrolíferas.
- ✓ O uso do CA para o abrandamento da dureza da água.
- ✓ O uso do CA para a remoção de substâncias orgânicas.
- ✓ A utilização do CA para o tratamento de gás.
- ✓ O tratamento dos efluentes das indústrias têxteis com o uso do CA.
- ✓ Tratamento da vinhaça usando o CA.

3 DESENVOLVIMENTO

3.1. Laboratório de Carvão Ativado (LCA)

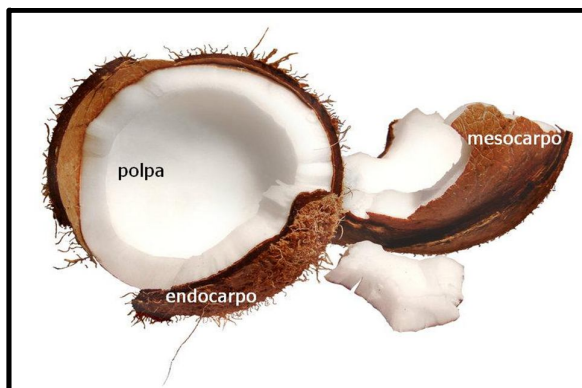
No início, o LCA limitava-se a produção do CA pela via física, sobretudo para o tratamento de água, onde os precursores foram o bagaço de cana, mostrado na figura 1 e o endocarpo do coco da baia, mostrado na figura 2, conhecido popularmente como quenga do coco.

Figura 1 - Bagaço de cana



Fonte: Carbono Sustentável (2009)

Figura 2 - Endocarpo do coco



Fonte: Wikipedia (2014)

Em 2002, o LCA foi convidado a integrar um projeto junto à PETROBRAS, coordenada pelos DEQ da UFCE e UFPE. O projeto denominado: “Tecnologia de Acondicionamento para o Transporte de Gás Natural a Mercados Remotos”, onde o objetivo principal era avaliar a possibilidade do transporte do gás natural para áreas que não eram servidas por gasodutos, como mostra a figura 3 na página seguinte.

Figura 3 - Gasodutos no Brasil



Fonte: Diário do PRÉ-SAL (2010)

O LCA ficou encarregado pela produção do CA para o transporte do gás natural, e assim com a produção do CA pela via física, o LCA se aprofundou e conseguiu produzir o CA pela via química de qualidade superior ao que havia disponível no mercado.

Esta parceria permitiu a realização de três trabalhos de pesquisa com o DEQ da UFCE, quatro dissertações de mestrado com o Programa de Pós-Graduação da UFPE e seis trabalhos publicados com os pesquisadores do DEQ da UFPE.

3.2. Atividades Realizadas no LCA

Mediante a aprovação de outro projeto junto ao CNPq, o Ministério de Minas e Energia e a FINEP, houve a possibilidade da realização de várias pesquisas envolvendo o tratamento da água utilizando a superfície do CA, armazenamento do gás e muitas outras que estão em progressos de desenvolvimento.

Estes estudos possibilitaram a realização de duas teses de doutorado, três dissertações de mestrado apresentadas no Programa de Pós-Graduação de Química e Engenharia Mecânica da UFPB onde vários trabalhos publicados relacionado com a produção de catalisadores para o processo hidrogenolísantes e oxidantes de sacarídeos e polióis.

O LCA em parceria com o DEQ da UFRN preparou um projeto sobre a remoção de nitrato de águas de abastecimento da cidade de Natal / RN por meio da aplicação de CA.

3.3. Principais Equipamentos do LCA

O LCA está dividido no setor de produção e do outro o setor de análises físicas e químicas.

O setor de produção possui os equipamentos necessários para realizar o processo de ativação dos resíduos, tornando-os capazes de atuar como um meio filtrante. Tais equipamentos são: forno elétrico rotativo, caldeira alimentada por um “*dewar*” (recipiente para armazenamento de nitrogênio) e cilindros gasosos que permite a ativação do CA, como ilustra a figura 4.

Figura 4 - Forno elétrico rotativo, Caldeira e Dewar de Nitrogênio



Fonte: JAGUARIBE, Emerson Freitas (2006)

A estrutura ainda dispõe de um forno de micro-ondas, com controle de rampas de temperaturas em função do tempo, uma prensa elétrica de 18 ton. e outra manual, um banho-maria com agitador Dubnoff, estufa elétrica Quimis, microporosímetro ASAP 2000 da Micromeritics que já teve atualização do ASAP 2000 para ASAP 2010, termobalança da Shimadzu mostrados na sequência de figuras de 5 11, dentre outro equipamentos e kits.

Figura 5 - Forno de micro-ondas com controle de rampa de temperatura



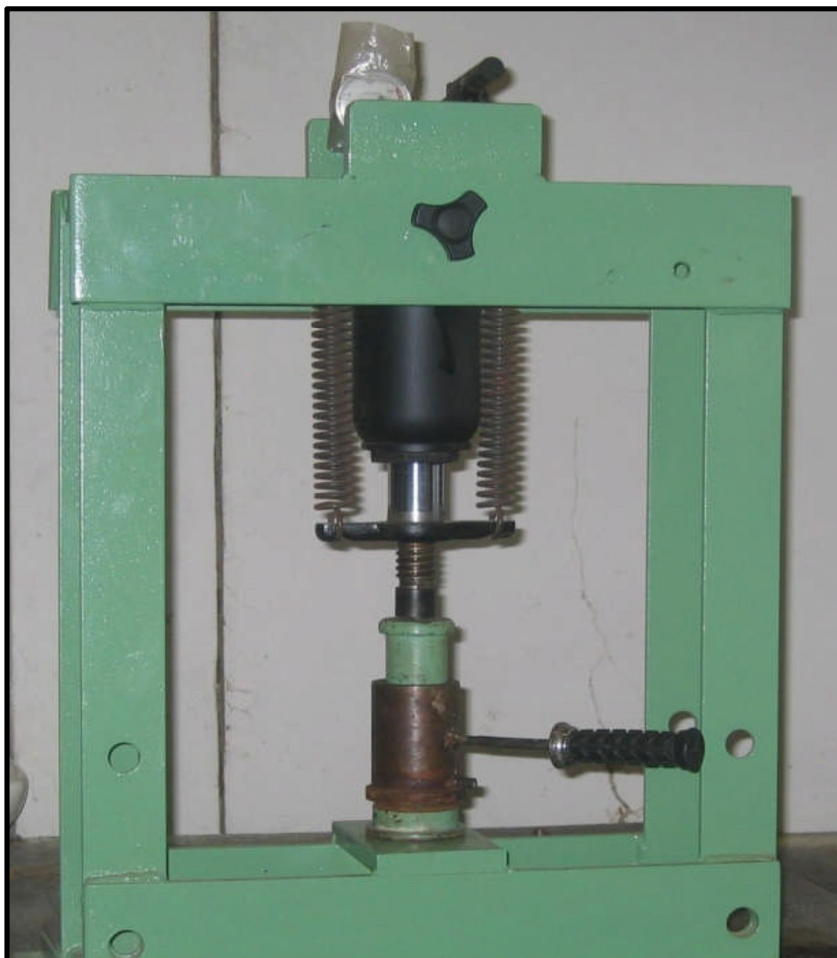
Fonte: JAGUARIBE, Emerson Freitas (2006)

Figura 6 - Prensa 18 toneladas



Fonte: JAGUARIBE, Emerson Freitas (2006)

Figura 7 - Prensa Manual



Fonte: JAGUARIBE, Emerson Freitas (2006)

Figura 8 - Banho-maria com agitador Dubnoff



Fonte: JAGUARIBE, Emerson Freitas (2006)

Figura 9 - Estufa elétrica Quimis



Fonte: JAGUARIBE, Emerson Freitas (2006)

Figura 10 - Porosímetro ASAP 2010



Fonte: JAGUARIBE, Emerson Freitas (2006)

Figura 11 - Termobalança da Shimadzu



Fonte: JAGUARIBE, Emerson Freitas (2006)

4 METODOLOGIA

4.1. Preparação do Precursor

O CA pode ser produzido na forma pulverizada, granulada, ou em pastilha. O processo de produção envolve basicamente carbonização e ativação. Uma vez preparado o precursor, escolhe-se a granulometria desejada e o tipo de ativação, que pode ser física ou química.

Inicialmente o bagaço de cana é seco à atmosfera ambiente e triturado, como mostra na figura 12. Posteriormente, ele é lavado em uma forte solução de ácido clorídrico, com a finalidade de remover as impurezas, tais como: íons ferro, cálcio e potássio. Depois, o precursor é lavado com água deionizada até que o pH atinja 7,0 em seguida é colocado em estufa a 110 °C, por 48 horas, após esta purificação, o bagaço de cana está pronto para receber à ativação física e química.

Figura 12 - Bagaço de cana secando ao ar ambiente



Fonte: Revista Alcoolbras (2005)

4.2. Características Físicas e Químicas do CA

A área superficial total, o volume de poros e o diâmetro dos poros das amostras são calculados através da análise de isotermas de N₂ a 77 K, utilizando um porosímetro do tipo ASAP 2010, como mostrado na figura 10.

As isotermas de nitrogênio são ajustadas por uma equação do tipo t-plot para a determinação dos supramencionados parâmetros.

4.3. Matéria Prima

As matérias primas para a produção de CA possuem elevado teor de material carbonáceo, sendo as mais usuais: madeira, casca de coco, de arroz, de nozes, bagaço de cana, carvão mineral entre outros materiais carbonáceos (LIMA; et al, 2012).

As matérias primas de origem vegetal são, em geral, materiais lignocelulósicos que têm como componentes químicos fundamentais os polissacarídeos (celulose + hemicelulose), lignina e componentes acidentais (orgânicos e inorgânicos).

A celulose tem composição uniforme em todos os vegetais, mas a lignina e a hemicelulose variam em proporção e em composição química de acordo com o vegetal.

4.3.1. O Bagaço de Cana-de-Açúcar

Como principal resíduo gerado na indústria sucroalcooleira, o bagaço de cana é um subproduto fibroso resultante da moagem da cana de açúcar que representa uma fonte abundante e de baixo custo de biomassa renovável.

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) a produção de cana de açúcar em 2008 foi de 562 milhões de toneladas. Salientando-se, que para cada tonelada de cana produzida, 248 kg de bagaço foi gerado.

Seu principal uso é para a geração de vapor em caldeiras nas usinas de açúcar e álcool, mas 50% deste bagaço são subaproveitados (BERNARDINO, 2013).

O armazenamento deste resíduo pelas usinas pode gerar custos adicionais e perigo de segurança com combustão ou poluição ambiental decorrente da queima do bagaço excedente, que gera uma espécie de cinza composta em sua maior parte de materiais inorgânicos.

Neste estudo, será enfatizada a produção de CA a partir do bagaço de cana de açúcar a partir das etapas de: carbonização ativada, avaliação dos modelos cinemáticos, efeitos do pH, isotermas de adsorção e do efeito da quantidade do adsorvente.

4.4. Parâmetro de Adsorção

No processo de produção do carvão ativado, há muitas variáveis responsáveis pela característica do produto final, tais como: natureza da matéria prima, temperatura de carbonização, razão de aquecimento e tempo de residência na ativação, que se refere ao tempo em que o material ativado e carbonizado fica exposto à temperatura de ativação e carbonização. A estrutura dos poros e a presença de complexos oxigenados sobre a superfície são responsáveis pela reatividade do CA, proporcionando-lhe diferenças na capacidade e na seletividade de adsorção para metais em solução aquosa, compostos orgânicos e inorgânicos (MORENO-CASTILLA, 2004).

4.4.1. Carbonização

A pirólise ou carbonização é feita na ausência de ar, a uma temperatura que varia de 400 a 800°C, enquanto a ativação com gases oxidantes ocorre em temperaturas de 800 a 900°C (DIAS; BERNARDO, 2005).

Na etapa de carbonização, os biopolímeros do precursor com a celulose decompõem-se e perdem constituintes por volatilização, tais como N, C e H, criando os espaços vazios no interior do material (DIAS; BERNARDO, 2005).

4.4.2. Ativação

A porosidade do carvão ativado se desenvolve e se modifica durante a ativação, e pode ser ajustada de acordo com o método empregado, que pode ser um processo físico, ou químico.

A natureza química da superfície do carvão ativado também pode ser modificada, mediante tratamento com soluções químicas e com tratamento térmico, em atmosfera adequada, com introdução ou eliminação de heteroátomos (CASTILLA, 2004, apud NUNES, 2009).

4.4.3. Modelos Cinéticos

O conhecimento da velocidade de adsorção é uma importante informação para o planejamento dos experimentos. Com o propósito de definir a cinética dos íons potencialmente adsorvidos pelo carvão, os dados de equilíbrio cinético são ajustados aos modelos de primeira e segunda ordem de “*Langerggrene Ho*”, baseadas na adsorção de adsorbatos em solução por adsorventes sólidos. A equação de primeira ordem é dada a seguir:

$$dq_t/q_t = K_1(q_e - q_t)^2 \quad (1)$$

Integrando-se a equação (1) para as condições de contorno $t = 0$ a $t = t_1 = q_t$, equação (1) toma a forma linearizada mostrada pela (2):

$$\log(q_e - q_t) = \log q_e - (K_1/2.303)t \quad (2)$$

A constante K_1 pode ser diretamente obtida pela inclinação da curva $\log(q_e - q_t)$ versus t .

A pseudo equação de segunda ordem é expressa através da equação (3):

$$dq_t/q_t = K_2(q_e - q_t)^2 \quad (3)$$

Onde K_2 é a pseudo constante de segunda ordem.

A forma linearizada da equação 3, é dada a seguir:

$$1/q_t = 1/K_2q_e^2 + (1/q_e) t \quad (4)$$

Os valores de K_2 podem ser estimados pela interseção da inclinação da curva, $(t/q_e) \times t$. O produto $K_2 \times q_e$ que representa uma taxa de adsorção inicial, designada no presente estudo por A. A meia vida $t_{1/2}$, que é o tempo necessário para que a quantidade de adsorbente atinja o equilíbrio, e utilizado como medida da taxa de adsorção, determinada pela equação 5:

$$t_{1/2} = 1/ K_2q_e \quad (5)$$

4.4.4. Efeito do pH

Vários estudos referem-se ao pH como um dos parâmetros mais importantes no processo de adsorção [GARG; et al, 2007; SEKAR; et al, 2004], uma vez que afeta tanto a dissociação dos sítios de ligação, bem como a disponibilidade para a sorção (ESPOSITO, 2007).

À medida que o pH aumenta, quando o limite de solubilidade da solução é atingido, a sorção é largamente reduzida, devido à ocorrência de precipitação (SCHNEIDER; et al).

Considerando que a adsorção de íons nas superfícies dos CA é extremamente afetada pelo pH, um rigoroso controle do pH das soluções se faz necessário. Para tanto, quantidades conhecidas de CA são adicionadas às soluções de NaOH, ou de HCl, a uma concentração de 0,1 N, com o propósito de produzir mudanças de pH em uma faixa de 3-11, agitadas durante 1 hora.

4.4.5. Isotermas de Adsorção

As isotermas de adsorção indicam a quantidade de íons que estão distribuídas entre as fases sólida e líquida (adsorbente e solução), até que o processo de adsorção atinja o seu equilíbrio. Elas são empregadas para estabelecer a máxima capacidade de íons carbono, representados em termos de íons adsorvidos por massa de carbono (mg/g). Portanto, as isotermas constituem a primeira informação experimental que se utiliza para se escolher entre os diversos carvões, ou seja, o mais apropriado para uma determinação específica.

A capacidade do adsorbente, q_e (mg de íon/por g de adsorbente), é calculada considerando-se o resultado da diferença na concentração dos íons em questão. A eficiência do adsorbente é calculada também, dando a possibilidade de verificar a capacidade do CA.

Muitas equações teóricas ou semi-empíricas foram desenvolvidas para determinar ou prever as isotermas. Dentre os modelos mais utilizados, destacam-se os de (RODRIGUES, 2004). Porém existem outros modelos mais complexos, como (BRUNAUER-EMMET e TELLER (BET), MCKAY, 1996; CLOONEY, 1999).

As formas lineares das isotermas de Langmuir e Freundlich são representadas pelas equações (6) e (7), respectivamente.

$$\text{Langmuir: } C_e / q_e = 1 / K_L Q_0 + (1/ Q_0) C_e \quad (6)$$

$$\text{Freundlich: } \log q_e = \log K_F + /n \log C_e \quad (7)$$

As isotermas de Langmuir, ainda é o modelo mais simples de isotermas de adsorção. A teoria de Langmuir admite que as forças que atuam na adsorção são de natureza semelhante às que envolvem combinação química. Considera-se, implicitamente, que o sistema é ideal; as moléculas são adsorvidas e aderem à superfície do adsorvente em sítios definidos e localizados, com adsorção em monocamada em superfície homogênea.

Já a isoterma de Freundlich corresponde a uma distribuição exponencial de calores de adsorção.

O modelo mais complexo, de Brunauer-Emmett e Teller (DULIEN, 1992) utiliza o mesmo mecanismo de adsorção da Teoria de Langmuir, mas introduz o conceito de adsorção em camadas, independente e imóvel.

4.5. Efeito da Qualidade de Adsorvente

A concentração de adsorvente a ser usado, ou melhor de CA, é um parâmetro muito importante pois determinam a capacidade de um adsorvente para uma concentração inicial do adsorbato. É importante efetuar esta análise, em experimentos do tipo avaliador, variando as quantidades de CA, antes do início da parte experimental, operando sob as mesmas condições.

O desenvolvimento da tecnologia da adsorção necessita também da identificação dos fatores químicos e físicos que regulam a sorção dos íons, ou impurezas, bem como do mecanismo do adsorvente necessário. Tais conhecimentos auxiliam na otimização do desempenho do processo de remoção (CHEN e WANG, 2007).

5 RESULTADOS E DISCURSÃO

5.1. Ativação Química e Física do CA

O CA é preparado pela carbonização e ativação do insumo escolhido para este fim, lembrando que pode ser qualquer material que seja rico em carbono.

A carbonização é realizada fazendo a pirólise em torno de 400 a 800°C, do material que será produzido o CA, onde a atmosfera inerte, que se removem os componentes voláteis, preparando um material homogêneo com um alto teor de carbono, porém com uma estrutura porosa pouco desenvolvida, daí a necessidade da ativação quer seja física ou química. Pode-se observar na figura 13 como fica o bagaço de cana antes e depois da pirólise.

Figura 13 - Bagaço de cana antes e depois da pirólise



Fonte: Os Braskeiros (2012)

5.1.1. Ativação Química do CA

A ativação química consiste com ação de certas substâncias, como o ácido fosfórico ou cloreto de zinco, em linhas gerais, estas substâncias são adicionadas no precursor antes da realização da carbonatação.

Posteriormente ocorre a remoção destas substâncias usando ácido no caso do $ZnCl_2$ e neutralização no caso H_2PO_4 , assim a estrutura porosa do CA fica exposta, estando-o apto para utilização.

5.1.2. Ativação Física do CA

A ativação física consiste na reação de gaseificação do carvão, onde estes gases contem oxigênio combinado, normalmente com H₂O e CO₂ ou com a mistura dos dois, estas combinações são inseridas durante o processo de carbonatação, que em temperatura de 400 a 800°C comportam-se como agente oxidante expondo a estrutura porosa do CA na figura 14 ilustra o CA após a ativação.

Figura 14 - Grão de Carvão após a ativação



Fonte: A melhor água

5.2. As Diferentes Formas de Encontrar o CA

As características do CA dependem da matéria-prima usada, como fora realizada a pirólise e de como foi feito a ativação. Assim cada condição em que o CA for produzido, terá características adsorventes diferentes e será aplicado para os diversos tipos diferentes de casos.

Como exemplo se o CA for produzidos a partir de madeira, na forma de serragem ou casca de coco, e ativado quimicamente é um excelente removedor de odores.

Basicamente vamos encontrar no mercado o CA de 3 formas: os pulverizados, os granulados e o peletizados (Figura 15).

Figura 15 - Carvão Ativado Peletizado



Fonte: JAGUARIBE, Daniele C. A.; et al

5.2.1. Carvão Ativado Pulverizado (CAPU)

O uso do CAPU é para aplicação em fase líquida, tanto para processos contínuos ou descontínuos. Estes são usados quando não têm a possibilidade do uso de colunas de filtração ou quando a regeneração não é indicada (Figura 16).

Figura 16 - Carvão Ativado Pulverizado



Fonte: MUCCIAITO (2009)

Para a utilização do CAPU é preciso dispor de agitadores para que o pó fique na superfície do líquido a ser tratado, para que o contato seja eficiente e que ocorra maior aproveitamento do CA. Após a adsorção o CAPU é separado do líquido por meio de centrifugação, filtração ou decantação, ou com a combinação destes.

O CAPU também poderá ser pulverizado nas superfícies dos filtros, fazendo uma camada a volta do mesmo, assim o líquido que passa pelo filtro entra em contato primeiro com a camada deste ocorrendo à adsorção.

5.2.2. Carvão Ativado Granulado (CAG)

O CAG pode ser utilizado tanto para substâncias no estado líquido quanto no estado gasoso. Se o CAG for produzido a partir de materiais mais rígidos, será mais duro possibilitando regenerações sucessivas, tornando o processo mais econômico, (Figura 17).

Figura 17 - Carvão Ativado Granulado



Fonte: MUCCIACITO (2009)

Normalmente se utilizam o CAG em colunas de filtração que podem ser horizontais ou verticais, em operação em série ou paralelo independente da direção do fluxo. Para as substâncias na fase gasosa, normalmente se utilizam colunas horizontais, devido a grandes quantidades de gases que passam pelo leito, onde a perda de carga é muito baixa. Se o fluxo for ascendente é possível o uso de colunas verticais.

5.2.3. Carvão Ativado Peletizado (CAPE)

O CAPE é aplicado em substâncias na fase gasosas e catálise, normalmente usado para o tratamento da água de aquário de água doce, marinha ou lagos artificiais para peixes ornamentais, (Figura 18).

Figura 18 - Carvão Ativado Peletizado



Fonte: Mercado Livre

Segundo alguns autores o nome peletizado, não está ligado com a forma de como foi submetido o tratamento, mas sim com a forma das partículas em pequenos cilindros.

5.3. Utilização do CA Para o Transporte de Gás Natural

Frente às necessidades do mercado no armazenamento do Gás Natural, o CA vem sendo uma promissora alternativa, pois para a tecnologia de Gás Natural Adsorvido (GNA), oferece inúmeras vantagens em relação ao Gás Natural Comprimido (GNC) e o Gás Natural Líquido (GNL). Com o uso do CA, o armazenamento do GNA ocorre em baixas ou moderadas pressões, trazendo uma maior segurança para os tanques de armazenamento.

Os ensaios foram realizados no LCA da UFPB em temperatura ambiente $29 \pm 1^\circ\text{C}$ e com as seguintes pressões 0,69; 1,38; 2,76; 4,14; 5,52; 6,89 e 8,27 MPa, como referência fora usada uma amostra comercial de CA denominada de Mesh 10 x 35 US para a comparação com o CA produzido no LCA.

O transporte do GNC exige muito cuidado, pois os cilindros contendo o Gás Natural (GN), como mostra na figura 19, tem de ser muito resistentes, devido a elevação da pressão, já para o transporte do GNL, mostrado (Figura 20), é preciso de tanques criogênicos a uma temperatura de -170°C , e baixa pressões onde a operação de logística de distribuição requer muito cuidados acarretando altos custos.

Figura 19 - Transporte do GNC



Fonte: Fatima Transportes (2008)

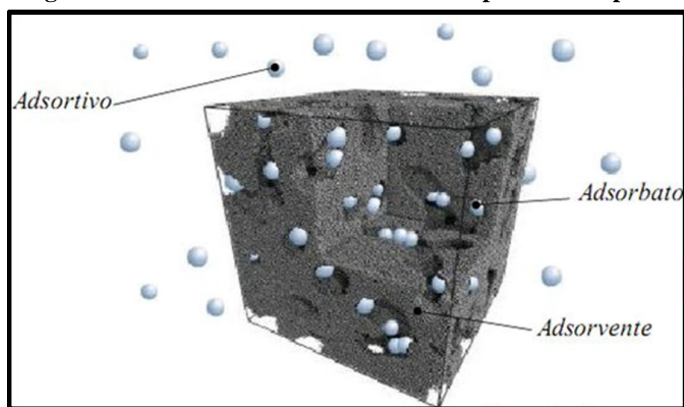
Figura 20 - Transporte do GNL



Fonte: Metal Cryo (2008)

Com a tecnologia GNA, existe a possibilidade do transporte do GN de forma segura para as regiões que não têm a cobertura pelos gasodutos, uma vez que as pressões são relativamente baixas ou moderadas usando materiais porosos como o CA, trazendo uma maior segurança tanto para quem está transportando como para a comunidade e os locais de distribuição, também gera uma redução dos custos em relação ao GNC e GNL, pois o gás é adsorvido no interior do CA que é o adsorvente, como mostra na Figura 21.

Figura 21 - Armazenamento do GN no CA para o transporte



Fonte: Slide Player (2008)

O uso do CA para armazenamento do GN traz inúmeras vantagens, pois a temperatura de 25°C o GNA tem uma pressão de 4,5 MPa, enquanto que o GNC esta com uma pressão de 20,7 MPa, embora a pressão do GNL no transporte seja apenas 0,35 MPa, a temperatura precisa ser de -170°C.

Para a estocagem de GN em cilindros, a densidade é um parâmetro crucial, porque quanto maior for a quantidade de CA no interior do cilindro, maior será o volume de gás estocado dentro do mesmo. O CA ideal para esta aplicação será aquele que tem uma ótima combinação entre volumes de microporos e densidade de empacotamento, onde estas propriedades definem a distribuição do tamanho dos poros diretamente.

Dentre as vantagens da utilização do CA para o sistema GNA, temos as seguintes:

- Sua capacidade de adsorção é muito alta.
- Sua taxa tanto para a adsorção como para a dessorção é elevada.
- O armazenamento é realizado a temperatura ambiente, e predominam os microporos com geometria em torno de 0,8nm de largura.
- Alta densidade de empacotamento.
- A alta capacidade calorífica e o baixo calor de adsorção, minimizam as mudanças durante o processo de adsorção e dessorção.
- Baixo custo para o uso final.

Durante os experimentos no LCA da UFPB, foram utilizadas 6 amostras de CA para a realização dos testes, onde: 5 das amostras de CA foram produzidas no laboratório e a outra trata-se de um produto comercial e importado. Os resultados obtidos se encontram na Tabela 1, onde a notação utilizada para a pirólise 800/10/2:00 significa:

O insumo atingiu uma temperatura máxima de 800°C durante o processo de pirólise, com aumento da temperatura gradativa de 10 em 10°C e que após ter atingido a temperatura máxima prevista, ficou nesta por um período de 2h.

BET: Brunauer, Emmett e Teller (adsorção das moléculas do gás no sólido), serve para medição de área superficial específica.

Tabela 1 - Parâmetros de ativação e características textuais dos CA avaliados

Adsorvente	Agente ativante	Pré-Tratamento	Pirólise	BET (m ² /g)	Volume microporos (cm ³ /g)	Volume Poroso Total (cm ³ /g)
EDK ½	50% KOH	300°C/3h chapa aquecedora	750/10/2:00	424,7	0,20	-
EDK ¾ 750	75% KOH	300°C/3h chapa aquecedora	750/10/2:00	362,2	0,14	0,21
EDK ¾ 800	75% KOH	Estufa 3h 100°C	800/10/2:00	319,8	0,11	0,15
CAQ 91R	ZnCl ₂	Aquecimento 80°C/30min – 110°C/evaporação água	450/2/2:00	1584,0	0,56	0,91
2 ED/RG	75% KOH	300°C/3h chapa aquecedora	800/10/2:00	720,6	0,27	0,37
Mesh 10x35US	-	-	-	1644,0	0,13	-

Fonte: OLIVEIRA (2004)

De acordo com os resultados experimentais, de acordo com a variação das pressões, a capacidade adsorvivas do CA expressa em gramas de gás adsorvido por gramas de CA, mostrados na Tabela 2 com os 6 tipos de CA para o armazenamento do GN.

Tabela 2_ Capacidade adsorviva mássica do metano em CA

Adsorvente	Quantidade adsorvida (g CH ₄ / g carvão ativado)						
	0,69 MPa	1,38 MPa	2,76 MPa	4,14 MPa	5,52 MPa	6,89 MPa	8,27 MPa
EDK ½	0,0073	0,0117	0,0132	0,0326	0,0462	0,0587	0,0705
EDK ¾ 750	0,0073	0,0117	0,0190	0,0345	0,0469	0,0550	0,0709
EDK ¾ 800	0,0073	0,0110	0,0161	0,0388	0,0488	0,0535	0,0694
CAQ 91R	0,0065	0,0162	0,0238	0,0423	0,0573	0,0832	0,0856
2 ED/RG	0,0073	0,0124	0,0176	0,0417	0,0479	0,0609	0,0737
Mesh 10 x 35 US (Importado)	0,0095	0,0198	0,0463	0,0642	0,0886	0,0965	0,1003

Fonte: OLIVEIRA (2004)

De acordo com os resultados obtidos, é possível observar que o CA importado se sobressai sobre os CA nacionais produzidos no LCA, e dentre os nacionais o que apresentou melhor resultados foi o CAQ91R.

Além do teste usando o metano puro, fora realizado também testes usando o GN que contém mistura de outros gases sob pressão de 4,14 MPa, (Tabela 4).

A amostra CAQ91R não foi usada no teste.

Tabela 3 - Comparação de adsorção do GN e Metano puro em CA com pressão de 4,14 MPa

Adsorvente	Quantidade adsorvida (g gás/g adsorvente)	
	Metano puro	Gás Natural
EDK 1/2	0,0326	0,0404
EDK ¾ 750	0,0345	0,0404
EDK ¾ 800	0,0388	0,0467
2ED/RG	0,0417	0,0367
Mesh 10 x 35 US (Importado)	0,0642	0,0767

Fonte: OLIVEIRA (2004)

Pode-se observar que o GN teve em média 20% a mais de adsorção em relação ao Metano puro, exceto na amostra 2ED/RG que o valor de adsorção foi menos em média de 12%, comprovando a eficácia da utilização do CA para o transporte de gás.

5.4. Tratamento de Poluentes do Setor Petrolífero com CA

O meio ambiente tem sido alvo constantes de contaminação pelos efluentes das indústrias, quer por acidente, incidentes ou por negligência de algumas empresas, para evitar ou minimizar os efeitos causados. O CA tem sido um forte aliado para o combate destes poluentes do setor petrolífero.

O CA tem sido o melhor e mais estável adsorvedores de gases e líquidos, isso devido a sua área superficial, com estrutura microporosa de alta capacidade de adsorção, o tratamento de efluentes com o CA é eficaz, porém o custo ainda é muito elevado a nível industrial.

Nos testes realizados para este fim, foram utilizado bagaço de cana provenientes da Agroindústria Japungu, localizada em Santa Rita no estado da Paraíba, para a produção do CA. Já o endocarpo de coco cedido pela Indústria de Sorvetes Buon Gelatto, localizada em João Pessoa também no estado da Paraíba.

Nestes experimentos o CA teve sua ativação pela via física, usando vapor de água a 110°C, na Tabela 4 podemos comparar os resultados. O CA do bagaço de cana (CFB) e endocarpo de coco (CFC), onde “d” é a densidade aparente, “VM” o volume de microporos e “AM” a área de microporos.

Tabela 4 - Comparação do CA do Bagaço de cana e Endocarpo do coco

Amos- tra	Pirólise	D g cm⁻³	BET m²g⁻¹	VM cm³g⁻¹	AM m²g⁻¹
CFC-1	900/10/0:30	0,43	838	0,336	631
CFB-1	800/10/0:40	0,15	744	0,248	533
CFB-2	800/10/1:00	0,14	862	0,256	550

Fonte: Borba et al (2009)

Tanto o endocarpo de coco quanto o bagaço de cana, apresentam característica de um CA mesoporoso, o aumento de tempo da resistência do bagaço de cana favorece o aumento de área superficial, volume e microporos, mostrando que o bagaço de cana tem um auto poder de adsorção dos poluentes do setor petrolíferos.

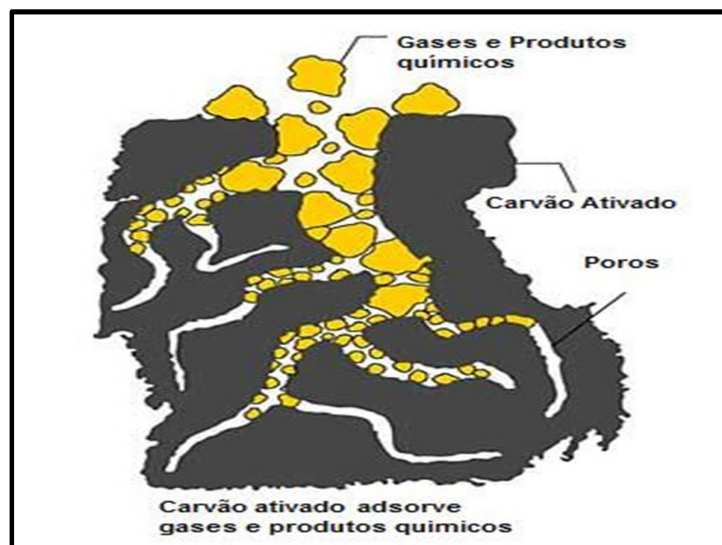
5.5. Remoção de Substâncias com o Uso do CA

Através do fenômeno de adsorção, o CA é utilizado para a remoção de substâncias de um fluido em diversas aplicações, vejamos exemplos:

- **Tratamento de água:** O CA tem um papel fundamental no tratamento e purificação da água, quer seja potável ou industriais, eliminando cor, odor, mal gosto e removendo substâncias orgânicas pelo mecanismo de adsorção. Além disso, remove os compostos orgânicos, fenólicos entre outras substâncias que diminuem a qualidade da água, tais como: pesticidas, micro poluentes, bactérias e vírus. Também pode ser utilizado no pré-tratamento de águas para as indústrias de alimentos, bebidas, farmacêuticas e na osmose reversa.
- **Tratamento de ar:** O CA é usado como filtro de ar, pois remove os contaminantes do ar adsorvendo produtos indesejáveis contido no ar, podendo também purificar o ar comprimido que é usado para diversas atividades.
- **Resíduos industriais:** Na reciclagem de águas industriais o CA é utilizado na remoção de substâncias como naftaleno, dodecilbenzeno, sulfonato, benzeno, fenol entre outros. Além da remoção de substâncias orgânicas, otimiza o processo, reduz as espumas e melhora a característica do lodo quando misturado ao lodo bioativo.
- **Na indústria farmacêutica:** Além de ser usados como medicamento no tratamento de desintoxicação o CA é utilizado para a purificação de substâncias, remoção de cor e impurezas de vitaminas, enzimas, analgésicos, penicilina e soluções intravenosas.
- **Indústrias químicas:** O CA é usado para purificação de produtos, remoção de cores residuais, odores, contaminantes, remoção de orgânicos, purificação de ácidos, desodorização e descoloração de produtos químicos.
- **Adsorção de gases:** Através da adsorção física se utiliza o CA para a recuperação de solventes nas indústrias de tintas, adesivos, têxtil, impressão ou na purificação de gás.
- **Tratamento de efluentes:** O CA pode ser usado na fase final de processo biológico em colunas de leito fixo, na fase de polimento, removendo cor ou componentes específicos.
- **Indústria alimentícia:** O CA tem um papel muito importante, adsorve as moléculas que causam gosto, cor e odores indesejáveis.

A Figura 22 mostra como estas substâncias ficam adsorvidas no CA, eliminando na forma total ou parcial estes inconvenientes.

Figura 22 - Adsorção de substâncias indesejáveis no CA



Fonte: Naturaltec

5.6. Utilização do CA Para o Abrandamento da Água

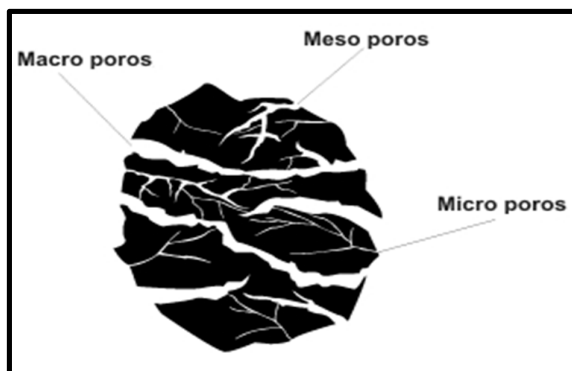
Este estudo foi realizado no LCA para avaliar o abrandamento da água utilizando o CA, com o objetivo de divulgação dos resultados obtidos no Congresso Brasileiro de Química realizado na Bahia.

Os principais íons que confere a dureza da água são magnésio e o cálcio, a dureza é definida como a soma de cátions presente na água (JAGUARIBE; et al, 2006).

O CA é uma opção para a realização do abrandamento da água, de acordo com Jaguaribe, et al (2006), consiste na eliminação parcial dos sais que provocam a dureza na água, testes mostraram que o uso do CA removeu cerca de 74% da dureza da água, destacando o CA ativado quimicamente.

O CA do endocarpo de coco fora ativado quimicamente e o CA do bagaço de cana fisicamente, onde o CA do endocarpo obteve uma área se superfície porosa superior ao do bagaço. Os poros podem ser medidos e classificados de acordo com seu tamanho, segundo a IUPAC eles são: microporos, mesos poros ou macro poros, (Figura 23), (JAGUARIBE; et al).

Figura 23 - Classificação dos poros do CA



Fonte: El Blog Verde (2011)

De acordo com os experimentos, para o abrandamento da água utilizando o CA, o que apresentou melhor capacidade de adsorção foi o de mesoporos, porque eles capturam moléculas grandes, proporcionando uma área superficial maior.

A água analisada durante o teste apresentou um valor de dureza total de 163 ppm de Ca^2 e Mg^2 , onde esta passou por um processo de filtração em duas etapas, a primeira com vazão de 10 mL / mim e a segunda com vazão de 20 mL / mim, o teste fora realizado usando CA do endocarpo de coco e CA do bagaço de cana, para ambas as vazões e os resultados estes contidos na Tabela 5.

Tabela 5 - Resultados obtidos com a filtração da água usando o CA

CARVÃO ATIVADO	VAZÃO mL / mim	Teor de Ca^2 e Mg^2 (ppm)
BAGAÇO DE CANA	10	94
BAGAÇO DE CANA	20	127
ENDOCARPO DE COCO	10	55,5
ENDOCARPO DE COCO	20	42

Fonte: Tabela do Autor (2014)

De acordo com a tabela 5 pode-se verificar que a remoção da dureza com o CA do endocarpo foi melhor do que com o bagaço de cana onde a melhor remoção com o CA do bagaço foi de 42,3% da dureza com vazão de 10 mL / mim, já para o CA do endocarpo de coco esta remoção foi de 74,2% com a vazão de 20 mL / mim.

5.7. Tratamento de Efluentes de Indústria Têxteis com CA

De acordo com os estudos apresentados o uso do CA para remoção de corantes têxteis por adsorção apresentam resultados bastante promissores, uma vez que as indústrias têxteis são consideradas causadoras de grandes impactos ambientais, devido ao volume elevado de efluentes coloridos produzidos, e apresentam uma toxicidade elevada, e que

muitas das vezes são jogadas diretamente nos rios sem qualquer tratamento como mostra na Figura 24.

Figura 24 - Efluentes de indústria têxteis sem tratamento



Fonte: Ozonizando (2002)

Nos últimos anos, as empresas têm usado o CA comercial para tratamento dos efluentes, as pesquisas apontam que o CA de materiais não convencionais tem sido usado com excelente resultado no tratamento dos efluentes, sendo um removedor promissor de corantes dos efluentes.

O CA apresenta muitas vantagens e eficiência na remoção e liberação da substância adsorvida, tem baixo custo na produção, possibilita à reutilização, diversidade na forma de utilização, alta tolerância a orgânicos entre outras vantagens.

Apesar de grandes resultados apresentados nos estudos e eficiências na remoção dos corantes, utilizando o CA em larga escala é preciso realizar novos estudos, parâmetros de pH e Temperatura desse processo adsorativo.

5.8. Tratamento da Vinhaça com CA

As pesquisas mostram que as indústrias sucroalcooleiras são geradoras de muitos efluentes durante a produção de etanol, para cada litro de etanol produzido é produzido em médio de 10 a 15 litros de vinhaça, (Figura 25), representando um elevado índice de poluição, cerca de cem vezes maior que o esgoto doméstico, isto porque é rica em matérias orgânicas, possui baixo pH, corrosividade elevada e alta demanda química de oxigênio (DQO).

Figura 25 - Resíduos da produção de etanol (Vinhaça)



Fonte: TV UDOP (2009)

De acordo com os experimentos, os resultados são bastante promissores, utilizando o CA no tratamento para a purificação da vinhaça, que teve uma remoção superior a 90 % para o DQO, e 99 % para cor e turbidez.

De acordo com o artigo para chegar aos resultados mencionados, antes do tratamento com CA fora utilizado um pré-tratamento de coagulação/floculação (Jar-test), utilizando FeCl_3 , Al_2SO_4 e CaO , nas concentrações de 5,10 e 15g/L, onde os resultados podem ser vistos nas tabelas 6,7 e 8.

Tabela 6 - Tratamento Vinhaça usando CA e coagulante CaO

Etapas dos Tratamentos	pH	Turbidez (NTU)	DQO (mg/L)	Cor
In Natura	4,40	>3.000	46.752	> 30.000
Após Jar-test	12,19	25,0	8.750	700
Após CA	12,00	1,5	360	50

Fonte: LIMA; et al (2012)

Tabela 7 - Tratamento vinhaça usando CA e coagulante Al_2SO_4

Etapas dos Tratamentos	pH	Turbidez (NTU)	DQO (mg/L)	Cor
In Natura	4,40	> 3.000	46.752	> 30.000
Após Jar-test	6,30	25,37	8.345	200
Após CA	6,00	1,40	339	30

Fonte: LIMA; et al (2012)

Tabela 8 - Tratamento vinhaça com CA e coagulante FeCl₃

Etapas dos Tratamentos	pH	Turbidez (NTU)	DQO (mg/L)	Cor
In Natura	4,40	> 3.000	46.752	> 30.000
Após Jar-test	9,8	18,47	5.551	700
Após CA	9,0	6,5	239	30

Fonte: LIMA; et al (2012)

Todos os coagulantes juntamente como o CA obtiveram excelentes resultados, indicando que vale a pena investir e tratar a vinhaça com estes procedimentos.

A Figura 26 ilustram os resultados dos testes realizados.

Figura 26 - Vinhaça após tratamento



Fonte: LIMA; et al (2012)

Através destes resultados há uma grande possibilidade da utilização da vinhaça como reuso, uma vez que os problemas com a falta d'água já esta afetando o nosso país de forma nunca antes vista, principalmente no estado de São Paulo, onde se concentram cerca de 89 % do parque industrial de produção sucroalcooleira, e neste ano de 2014 o governo está lutando com a falta d'água, que é a pior crise vivida dos últimos 20 anos, como mostra a Figura 27, um dos reservatórios do estado com uma imagem só vista no interior do Nordeste. Com o tratamento da vinhaça, através do CA juntamente com um dos coagulantes, avaliados no sistema Jar Test, as usinas poderiam contribuir, liberando um efluente que poderá ser tratado com mais facilidades pelas companhias de abastecimento de água ou poderia esta reutilizando na própria indústria nos banheiro, lavagem de chão de fábrica entre outros.

Figura 27 - Represa de abastecimento de água do estado de São Paulo



Fonte: Blog Palavras Diversas (2014)

6 CONCLUSÃO

A conclusão do presente trabalho permite afirmar que, o CA pode ser produzido principalmente do bagaço de cana que é um subproduto produzido em larga escala nas indústrias sucroalcooleiras, embora outros precursores possam ser utilizados para a produção do mesmo, outro insumo usado em larga escala por ter muito na região do Nordeste é o endocarpo do coco, a grande vantagem é que cada região poderá utilizar o insumo que ela tem disponível em grande quantidade, como se for na região de Minas Gerais, que tem uma grande produção de café, o precursor será a casca de café, assim é possível a produção do CA em qualquer lugar que tenha insumo rico em carbono.

Ao longo dos últimos anos, muitas pesquisas realizadas mostrou que o CA cumpre muito bem seu papel aonde quer que seja aplicado apresenta resultados surpreendentes. O LCA da UFPB esta com as portas abertas para auxiliar nas pesquisas, com mais de 15 anos no mercado e um know-how técnico amplo e um grande conhecimento sobre o assunto, onde afrente do laboratório esta o Sr. Dr. Emerso F. Jaguaribe e o Dr. Rennio F. de Sena.

Através da avaliação da literatura foi possível observar que para o transporte do Gás Natural, o uso do CA reduz de forma considerável o risco de acidentes, porque com o uso do mesmo, a pressão no interior dos cilindros ou tanques é reduzida drasticamente, permitindo o manuseio com uma segurança maior, tanto para quem está trabalhando diretamente, quanto quem está a sua volta, além da grande vantagem de poder trabalhar a temperatura ambiente, facilitando o transporte do mesmo.

Com a utilização do CA juntamente com coagulante, fica possível o reuso da vinha tratada, pois a eficácia do tratamento mostrou a redução na casa dos 90% para o DQO e de 99% para a Cor e Turbidez, isto representa uma vantagem enorme visto que a produção de vinhaça é em média 12,5 L por L de Etanol produzido.

A partir dos experimentos realizados para este estudo sobre o tratamento de abrandamento da água, com a utilização do CA, onde a eficiência atingiu a redução de cerca de 74% da dureza da água, entretanto mostra que nos locais onde a água é muito dura, como é o caso do interior da Paraíba, o uso do CA seria uma excelente solução aliada ao tratamento de água, trazendo benefícios para a saúde de toda a população.

O CA está se tornando uma solução para ser usado nos mais diversos propósitos, uma vez que a produção do mesmo é de baixo custo e a matéria prima é encontrada em abundância logo, é possível a produção a partir de qualquer matéria rica em carbono. Vale ressaltar que muitos estudos ainda estão no inicio e outros precisam se aprofundar.

7 SUGESTÃO PARA PRÓXIMOS TRABALHOS

Os atuais padrões econômicos, adotados em todo o mundo, exige a produção de carvão ativado, feitos a partir de resíduos de biomassa, com o objetivo de maximizar o custo/benefício.

O preço da tonelada de bagaço de cana de açúcar é negociado, em média, a R\$ 70,00, durante o período de seca. Ao mesmo tempo, o preço do carvão ativado, produzido no país, geralmente de baixa qualidade, oscila entre R\$ 40,00 e R\$ 150,00, demonstrando-se assim, que com o rendimento de conversão, pode-se obter um lucro de 50% do custo da produção por tonelada.

Para a Indústria Sucroalcooleira a expectativa do aproveitamento deste subproduto, de grande valor comercial, traria benefícios de natureza econômica e social para localidades adjacentes. E uma vez que nas fornalhas de todas as plantas sucroalcooleiras que utilizam o bagaço de cana, existe um resíduo carbonáceo misturado às cinzas, este resíduo poderá ser recolhido, lavado e aproveitado na ativação física do carvão, possibilitando assim, um aumento do rendimento destas plantas: (I) reduzindo o custo do processo de produção de carvão e (II) evitando a deposição de material danoso ao meio ambiente. Uma experiência de sucesso nesse sentido ocorre na empresa Agro Industrial Tabu, situada em Caaporã.

Considerando o grande campo de pesquisas e os resultados da eficiência da utilização do bagaço de cana que é um subproduto produzido em larga escala e o preço da tonelada mesmo na época da entre safra é relativamente baixo, os custos da produção e ativação do CA também é relativamente baixo, e as técnicas disponíveis hoje são de fácil acesso para sua produção.

Uma aplicação viável para o CA a partir do bagaço de cana é a sua utilização no processo de clarificação do caldo, durante a produção de açúcar o qual evitaria a presença de resíduos químicos no produto final além de contribuir para o meio ambiente.

Devido os resultados apresentado no presente trabalho, estudar a viabilidade de fazer o tratamento de clarificação do caldo utilizando o CA, tendo em vista que os grandes clientes exigem o produto sem resíduos químicos. Esta também é uma das dificuldades que o Brasil encontra na exportação pois os mercados são mais exigentes e não admite esses resíduos no açúcar.

Com as técnicas e a experiência que temos principalmente no LCA da UFPB é possível realizar um trabalho de pesquisa nesta linha visando, obter resultados que poderiam alavancar as vendas externas do açúcar brasileiro para o exterior e garantir a qualidade do produto nacional, principalmente por se tratar da necessidade de um alimento de grande consumo.

Outros trabalhos trazem expectativas inovadoras, tais como:

- 1) Produção de monólitos de carvão ativado, ou seja, monólitos geralmente em forma circular, obtidos por prensagem, com massas específicas superiores e durezas elevadas.
- 2) Uso de forno de micro-ondas adaptado à obtenção do carvão ativado.
- 3) Tratamento superficial dos carvões, tendo em vista as diferentes polaridades, levando-se em consideração que, muitas vezes, há uma repulsão física entre adsorbato e adsorvente.

Finalmente, o uso do bagaço de cana como matéria prima vai permitir que este material, antes desperdiçado pela indústria Sucroalcooleira, seja convertido em matéria prima que agregue considerável valor econômico. Diante deste estudo realizado foi possível observar que existe a possibilidade de utilizar o CA no branqueamento do açúcar, como já é feito em países mais desenvolvidos, evitando, a utilização de dióxido de enxofre, que pode levar riscos à saúde do consumidor.

É indubitável que há o domínio da tecnologia para a fabricação de um produto de qualidade e de grande interesse comercial, elaborado a partir de matéria prima abundante e de baixo valor aquisitivo.

8 REFERÊNCIAS

A MELHOR ÁGUA (Figura 14 da página 30 deste trabalho): Grão de carvão após a ativação. Disponível em: < <http://amelhoragua.com.br/destaque/o-que-e/> >. Acesso em: Julho de 2014.

ALCOOBRAS (Figura 12 da página 24 deste trabalho): Bagaço de cana secando ao ar ambiente, 2005. Disponível em: < http://www.revistaalcoobras.com.br/edicoes/ed_95/ed_95a.html >. Acesso em: Junho de 2014.

ARAÚJO, José C. S.; TORRES, Antonio E. B.; AZEVEDO, Diana C. S.; CAVALCANTE JR, Célio L.; JAGUARIBE, Emerson F. Methane Adsorption Using Microporous Carbons Obtain from Coconut Shells. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON FUNDAMENTALS OF ADSORPTION, 8th, 2004, Sedona – Arizona – USA. Annual. Sedona: International Conference on Fundamentals of Adsorption: 2004. p. 316.

BERNARDINO, V., Princípio de Balanços Termoenergéticos em Caldeiras Geradoras de Vapor nas Indústrias Sucroalcooleiras, TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO, Departamento de Tecnologia Sucroalcooleira, 2013.

BLOG PALAVRAS DIVERSAS (Figura 27 da página 44 deste trabalho): Represa de abastecimento de água do estado de São Paulo, 2014. Disponível em: < www.facebook.com/permalink.php?id=149243901755595&story_fbid=844097655603546 >. Acesso em: Agosto de 2014.

BORBA, Loiva L. S.; OLIVEIRA, Maryelzy F. D.; DANTAS, Tereza N. C.; SILVA, Djalma R.; Medeiros, Luciana L. Produção de Carvão Ativado a partir de Bagaço de Cana e Endocarpo de Coco para Tratamento de Efluente no Setor Petrolífero. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE QUÍMICA, 32ª, 2009, Fortaleza – CE. Anais. Fortaleza: Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química: 2009.

BRUNAUER, S.; EMMETT, P.; TELLER, J., Adsorption of Gases in Multimolecular Layers. J. Amer. Chem. Soc., **60:309**, 1938.

Carbono Sustentável (Figura 1 da página 18 deste trabalho): Bagaço de cana, 2009. Disponível em: < <http://carbonosustentavelbrasil.wordpress.com/category/biomassas-renovaveis/bagacobriquete-de-cana/> >. Acesso em: Junho de 2014.

CHOQUE DE GESTÃO TUCANA GEROU O RACIONAMENTO DE ÁGUA NO ESTADO DE SÃO PAULO. Palavras Diversas, São Paulo, 19 de março de 2014. Disponível em: < <http://blogpalavrasdiversas.wordpress.com/2014/03/19/choque-de-gestao-tucano-gerou-o-acionamento-de-agua-em-sp/> >. Acessado em: 28 de Junho de 2014.

CHEN, C.; WANG, J. Influence of Metal Ionic Characteristics on Their Adsorption Capacity by *Saccharomyces cerevisiae*, Applied Microbiology and Biotechnology, **74:911**, 2007.

CLOONEY, D.O. Adsorption Design for Wastewater Treatment. Boca raton, Florida; Editora CRC Press, 1999.

DIÁRIO DO PRÉ-SAL (Figura 3 da página 19 deste trabalho): Gasoduto no Brasil, 2010. Disponível em: < <http://diariodopresal.wordpress.com/2010/03/26/petrobras-inaugura-o-maior-gasoduto-do-brasil/> >. Acesso em: Junho de 2014.

DULIEN, F.A., Porous Media: Fluid Transport and Pore Estructure. San Diego: Academic Press, 1992.

EL BLOG VERDE (Figura 23 da página 40 deste trabalho): Classificação dos poros 2011. Disponível em: < <http://elblogverde.com/carbon-ativado/> >. Acesso em: Junho de 2014.

ESPOSITO, A., pH Related Equilibrium Models for Bisorption in Single Metal Systems, Chemical Engineering Science, **57:307**, 2002.

FÁTIMA TRANSPORTE E LOGISTICA (Figura 19 da página 33 deste trabalho): Transporte GNC, 2008. Disponível em: < <http://www.tfatima.com.br/gnc> >. Acesso em: Julho de 2014.

GARG., U. K., Removal of Hexavalent Chromium from Aqueous Solution by Agricultural Waste Biomass, Journal of Hazardous Materials, **140:60**, 2007.

JAGUARIBE, Danielle C. A.; MEDEIROS, Luciana L., A LOW COST ADSORBENT BY H₃PO₄ Activation, Chemical Engineering Journal, **63:243**, 2005.

JAGUARIBE, Danielle C. A.; JAGUARIBE, Emerson F.; BARRETO, M.C.; PEDROSA F., Activated Carbon Pellets for Natural Gas Storage In: Carbon 2005, Proceedings of Carbon 2005, Gyeongju, Korea, 2005.

JAGUARIBE, Emerson Freitas, O Laboratório de Carvão Ativado. In: Universidade Federal da Paraíba Centro de Tecnologia Laboratório de Carvão Ativado, João Pessoa, 2010.

JAGUARIBE, Emerson F.; OLIVEIRA, Marielzy F. D.; VIEIRA, H. M.; MEDEIROS, L.; PORPINO, Karna; CRISPIM, Sâmara C. L.. Aplicação do Carvão Ativado de Bagaço de Cana-de-Açúcar e Endocarpo de Coco no Abrandamento da Dureza da Água. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE QUÍMICA, XLVI, 2006, Salvador – BA. Anais. Salvador: Congresso Brasileiro de Química. 2006.

LIMA, Hebert H. S.; BEZERRA, Alexandre F.; RODRIGUES, Elisangela G. S.; JAGUARIBE, Emerson F.; SENA, Rennio F.. Tratamento Físico Químico da Vinhaça com o Uso de Carvão Ativado do Bagaço da Cana de Açúcar. In: ENCONTRO NACIONAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA/UEPB, I, 2012, Campina Grande – PB. Anais. Campina Grande: Encontro Nacional de Educação, Ciência e Tecnologia / UEPB. 2012.

MCKAY, G., Use of Adsorbents for the Removal of Pollutants from Wastwwaters, Boca Raton, Florida: Editora CRC Press, 1996.

MEIER, Thompson R. W.; MATTJIE, Adriane C. Remoção de Corantes Têxteis por Adsorção Utilizando Carvão Ativado Obtido de Materiais não Convencionais. In: ENCONTRO DE DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA, III, 2011, Toledo – PR. Anais. Toledo: Encontro de Divulgação Científica e Tecnológica. 2011.

MERCADO LIVRE (Figura 18 da página 32 deste trabalho): Carvão ativado peletizado. Disponível em: < <http://produto.mercadolivre.com.br/MLB-585384714-midia-para-filtros-carvo-ativado-mega-carbon-500gr- JM> >. Acesso em: Julho de 2014.

MORENO-CASTILLA, C., Adsorption of Organic Molecules from Aqueous Solutions on Carbon Materials, *Carbon*, **42:83**, 2004.

METAL CRYO (Figura 20 da página 34 deste trabalho): Transporte de GNL, 2008. Disponível em: < <http://www.metalcryo.com.br/transportesrodoviaros.html> >. Acesso em: Julho de 2014.

MUCCIACITO, João Carlos. Uso Eficiente do Carvão Ativado como Meio Filtrante em Processos Industriais. Meio Filtrante, São Paulo, Ano VIII, Edição 39. Disponível em: < http://www.meiofiltrante.com.br/materias_ver.asp?action=detalhe&id=502&revista=n39 >. Acesso em: 20 de Junho de 2014.

NATURALTEC (Figura 22 da página 39 deste trabalho): Adsorção substâncias indesejáveis no CA. Disponível em: < <http://www.naturaltec.com.br/Carvao-Ativado.html> >. Acesso em: Julho de 2014.

NUNES, Diego Luiz. Preparação de carvão ativado a partir de torta prensada de *Raphanus Sativus L.* e utilização para clarificações de soluções. Dissertação (Mestrado em Ciências de Alimentos) – Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, Belo Horizonte, 2009.

OLIVEIRA, Marcelo Henrique de Andrade. Cinética e equilíbrio de Adsorção para Armazenamento de Gás Natural em Carvão Ativado. 2004. 107 folhas. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Pernambuco - PE, Recife.

OS BRASKEIROS (Figura 13 da página 29 deste trabalho): Bagaço de cana antes e depois da pirólise, 2012. Disponível em: < <http://osbraskeiros.blogspot.com.br/> >. Acesso em: Junho de 2014.

OZONIZANDO (Figura 24 da página 41 deste trabalho): Efluentes de indústrias têxteis sem tratamento, 2002. Disponível em: < <http://www.o3r.com.br/blog/category/efluentes/> >. Acesso em: Julho de 2014.

REINOSO, F.R.; MOLINA, M.S., El Carbon Activado Como Adsorvente em Descontaminacion Ambiental, Laboratórios de Materiales Avanzados, Departamento de Química Inorgánica, Universidade de Alicante, Espanha, 2004.

SALES, Deivson César Silva. Processo de Formulação de Carvões Ativados e Aplicações ao Armazenamento do Gás Natural. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Pernambuco – PE, Recife.

SALES, Deivson S. C.; JAGUARIBE, Emerson F.; ABREU, César A. M. Preparação de Carvões Ativados Utilizados no Armazenamento Adsorptivo do Gás Natural: Influência da Temperatura no Equilíbrio de Adsorção. In: ENCONTRO BRASILEIRO SOBRE ADSORÇÃO, 7º, 2008, Campina Grande – PB. Anais. Campina Grande: Encontro Brasileiro sobre Adsorção. 2008.

SALES, Deivson S. C.; MARTINS, R. G.; JAGUARIBE, Emerson F.; ABREU, Cesar A. M. Dinâmica do Processo de Gás Natural sobre Carvão Ativado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CARBONO, IV, 2007, Gramado – RS. Anais. Gramado: Congresso Brasileiro de Carbono. 2007.

SLIDE PLAYER (Figura 21 da página 34 deste trabalho): Armazenamento do GN no CA para o transporte, 2008. Disponível em: < <http://slideplayer.com.br/slide/1660924/> >. Acesso em: Junho de 2014.

SOUZA, B. M. Avaliação de processos oxidativos avançados acoplados com carvãoativado granulado com biofilme para reuso de efluentes de refinaria de petróleo. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, Rio de Janeiro, 2010.

SCHNEIDER, Eduardo Luiz. Adsorção de Componentes Fenólicos Sobre Carvão Ativado. 2008. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Química) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná – PR, Toledo.

SCHNEIDER, I. A., Biosorption of Metals onto Plant Biomass: Exchange adsorption or Surface Precipitation?, International Journal of Mineral Processing, **62:11**, 2001.

TV UDOP (Figura 25 da página 42 deste trabalho): Resíduo da produção do etanol (vinhaça), 2009. Disponível em: < http://www.udop.com.br/tv/index.php?nome_flv=24_1249_mt&codigo=1188&id_canal=1 >. Acesso em: Junho de 2014.

WAELEKENS, Barbara Elisabeth. Tratamento de Efluentes Industriais Mediante a Aplicação de Argila Organofílica e Carvão Ativado Granular. 2010. 117 folhas. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Sanitária) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – SP, São Paulo.

WIKIPEDIA (Figura 2 da página 18 deste trabalho): Endocarpo de coco, 2014. Disponível em: < <http://pt.wikipedia.org/wiki/Coqueiro> >. Acesso em: Junho de 2014.