

Explorando o comportamento da adsorção em palete descartado

Jhonatan Junio de Freitas

Gylles Ricardo Ströher

Gisely Luzia Ströher

RESUMO

Os paletes são amplamente utilizados para a movimentação de cargas, porém, esses com frequência são descartados de maneira inadequada, devido ao custo associado ao seu correto descarte. Este estudo se concentrou em transformar paletes vencidos em carvão de palete (CP) e investigar suas propriedades, realizando a determinação da isoterma de Langmuir, empregando soluções de padrão primário. Os resultados obtidos com o rendimento gravimétrico foram de 66,05%, o que indica um excelente custo/benefício. A isoterma obtida se caracteriza de uma adsorção favorável, ocorrendo a saturação dos sítios em torno de $0,014 \text{ g.L}^{-1}$, com uma camada próxima a concentração de $3,3 \text{ mol.L}^{-1}$. A área ativa deste carvão de palete foi estimada em $715,94 \text{ m}^2.\text{g}^{-1}$. Este estudo se dedicou em avaliar as capacidades de adsorção do material descartado, visando sua reutilização de forma mais sustentável, contribuindo dessa forma na preservação do meio ambiente. Transformar o material descartado em um adsorvente não só agrega valor ao produto, mas também reduz significativamente os custos da indústria associados ao descarte convencional.

Palavras-chave: Palete de madeira, Carvão ativado, Adsorção, Isotermas de Langmuir.

1 INTRODUÇÃO

Notamos que o crescimento industrial é sempre desejável, e bem querido para o desenvolvimento humano. No entanto, se observa emissões diversas de resíduos e poluentes ambientais praticamente nas mesmas proporções desta evolução industrial (AGUIAR, SILVA, EL-DEIR, 2019).

Segundo Bertaglia (2005) o palete é uma plataforma empregada na movimentação de cargas construído de madeira ou confeccionados por fibra e metal sendo amplamente empregado no setor de logística e armazenamento para as atividades de transporte dentro da indústria e comércio.

O palete de madeira, tem presença significativa no mercado brasileiro desde a década de 1960 como um facilitador de logística na indústria automotiva, e sua participação se manteve estagnado até meados de 1980 (MENDES, 2023).

No mercado brasileiro atual há cerca de oito tipos de paletes, cada qual planejado para uma determinada função, tanto econômica quanto sustentável. Entre estes se destacam os planejados pela ABRAS (Associação Brasileira de Supermercados) de madeira PBR (Palete Padrão Brasileiro) e os de plástico (MENDES, 2023).

Figura 1 - Palete de madeira PBR.



Fonte: Autoria própria, 2024.

Os paletes podem ser produzidos de madeiras de reflorestamento, autorizadas pelo Ibama (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente), com predominância de árvores do tipo pinus e eucalipto, sendo o último de maior destaque (HASSMADEIRAS, 2018).

A madeira de fato não tem uma data de validade específica, no entanto os paletes de madeira comercializados apresentam em média uma vida útil de no máximo três anos, além de estarem propensos a alterações devido ao clima, fungos, e a falta de manutenção apropriada (SBPALLETTS, 2022).

O consumo de paletes de madeira no Brasil anualmente, gira em torno de três milhões, como as empresas ainda não encontram um meio de maximizar os custos/benefícios destes após sua vida útil, é comum se observar o abandono destes no meio ambiente (GÜLLICH, UHMANN, 2019).

A reciclagem, a redução e o reutilizar são fundamentais para diminuir o lixo ou descarte inadequado de materiais. O palete pode ser reaproveitado evitando o aumento da poluição ambiental e também reduzindo o consumo de matéria-prima na purificação de rejeitos preservando os recursos naturais (FONSECA, 2013)

Segundo Lima e Silva (2005), a economia de outras fontes de energia, pode ser também atrelada a utilização de diversos resíduos como matéria prima na sua obtenção, desde que preferencialmente estes sejam isentos de contaminantes ou substâncias que venham a prejudicar o funcionamento e/ou o tempo de vida útil de caldeiras, entre outros. Neste processo energético é interessante aliar materiais com alta capacidade calorífica no intuito de melhorar o custo benefício de toda a ação.

A utilização de resíduos de madeira, empregando a pirólise na produção de carvão ativado, tem agregado valor pelo fato de serem adsorventes de poluentes, já que possuem porosidades compatíveis e enorme potencial, nesse tipo de aplicação (CZAJCZYNSKA *et al.*, 2017).

A transformação dos resíduos de madeira em carvão vegetal, pode ser realizada por aquecimento em meio pobre de comburente, concentrando carbono e eliminando oxigênio no processo de pirólise (SILVA, ANDRADE, JÚNIOR, 2020; SILVA *et al.*, 2022).

Existem vários tipos de carvão, sendo as principais diferenças decorrentes da forma de obtenção, da porosidade e da área superficial. Os mais comuns são o carvão mineral, o vegetal e o ativado (MIMURA, SALES, PINHEIRO, 2010; GAMA *et al.*, 2022).

O carvão ativado tem sido o adsorvente mais comum empregado na remoção de compostos voláteis em condições gasosas (AMÉRICO-PINHEIRO, BENINI, AMADOR, 2016).

A capacidade de adsorção de um material pode ser correlacionada com a área superficial disponível neste. Algumas vezes, a remoção de compostos orgânicos carbonáceos pode ser realizada simplesmente com a aplicação controlada de altas temperaturas no material (AMÉRICO-PINHEIRO, BENINI, AMADOR, 2016).

Langmuir trabalhou fundamentando a teoria da adsorção aplicada a superfícies homogêneas, onde se tem a formação de uma camada monomolecular, com base no conceito de que cada sítio ativo acomoda apenas uma unidade adsorvida e que a energia pode ser distribuída igualmente para todos os sítios, segundo a equação 1 (MORAIS, 2014; MELANI *et al.*, 2021).

$$\frac{C_e}{Q_e} = \frac{1}{Q_m K_L} + \frac{1}{K_L} C_e \quad \text{equação 1}$$

Nesta equação (1) K_L representa a constante de Langmuir que é a capacidade de adsorção teórica na monocamada, C_e a concentração de adsorvato no equilíbrio, Q_m a constante relacionada à energia de adsorção e Q_e é a razão da quantidade de adsorvato e adsorvente no equilíbrio (ATKINS, 2017).

Segundo Fernandes (2008) no modelo proposto por Langmuir o parâmetro de equilíbrio (R_L) indica uma adsorção favorável quando os valores são acima de zero e abaixo de um, conforme a equação 2 (FERNANDES, 2008).

$$R_L = \frac{1}{(1 + K_L Q_m)} \quad \text{equação 2}$$

Sobretudo, as isotermas de adsorção são curvas, que em temperatura constante, podem ser descritas por equações matemáticas, dado que, são oriundos de modelos físicos, que são determinados experimentalmente com a adsorção (DABROWSKI, 2001).

As informações geradas a partir da interpretação desse modelo de equação, projeta qual o tipo da adsorção ocorreu, e o quanto foi adsorvido da substância, e além disso, se o processo é viável (DABROWSKI, 2001).



Este trabalho empregou o palete ou estrado de madeira descartado pela indústria, e o transformou em carvão ativado através da pirólise a baixa temperatura, no intuito de se agregar valor a um resíduo descartado muitas vezes de forma incorreta e o utilizar como adsorvente de impurezas.

2 METODOLOGIA

A matéria-prima deste trabalho foram os paletes de madeira, após o encerramento da vida útil destes, doados por empresas da cidade de Apucarana, Estado do Paraná, Brasil. Estes foram desmontados e cortados antes de serem submetidos as diversas análises.

Empregou se apenas uma quantidade razoável do palete para realização dos experimentos, as dimensões médias obtidas após serem cortados, foram de (2 cm x 2 cm x 4 cm) sendo largura, altura e comprimento.

Os paletes foram submetidos a análises de teor de umidade e cinzas segundo metodologia da *Association of Official Analytical Chemists* (AOAC,1998).

A massa foi inicialmente pesada em triplicatas de aproximadamente 500 g as quais foram submetidas a pirólise com o auxílio de mufla *Jung, LF0212*, em diferentes testes experimentais de temperatura para maximizar a produtividade. Depois dessa etapa se empregou uma isoterma de aquecimento em 350°C por 7 horas para obtenção do carvão. As massas iniciais e finais forma empregadas na determinação do rendimento gravimétrico.

O carvão obtido foi triturado em liquidificador Blend até obtenção de pó e acondicionado em frascos herméticos para a determinação das isotermas de Langmuir, conforme os trabalhos de Perry (1988) e Valencia (2007) adaptados por Melani *et al.*, 2021.

As isotermas de Langmuir foram caracterizadas, empregando concentrações diferentes de ácido oxálico (padrão primário), e tituladas com hidróxido de sódio, para serem quantificadas (PERRY, 1998; VALENCIA, 2007; MELANI *et al.*, 2021).

Foram pesadas as amostras do carvão de palete (CP) no valor médio de massa (m) de 0,5g. E, foram preenchidos os erlenmeyer com ácido oxálico ($C_2H_2O_4$) e água (H_2O), conforme mostra Tabela 1, para as análises de verificação de quantificação da adsorção CP usando ácido oxálico ($C_2H_2O_4$), com concentração (C) de 0,003 mol.L⁻¹.

Tabela 1 - Volumes de ácido oxálico, água e volume final nos experimentos de adsorção.

Experimento	V _{Ácido Oxálico} (mL)	V _{Água} (mL)	V _{final} (mL)
01	100,0mL	0mL	100,0mL
02	80,0mL	20,0mL	100,0mL
03	60,0mL	40,0mL	100,0mL
04	50,0mL	50,0mL	100,0mL
05	40,0mL	60,0mL	100,0mL
06	20,0mL	80,0mL	100,0mL

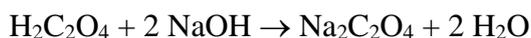


07	10,0mL	90,0mL	100,0mL
08	5,0mL	95,0mL	100,0mL
09	3,0mL	97,0mL	100,0mL
10	1,0mL	99,0mL	100,0mL
11	0,5mL	99,5mL	100,0mL
12	0,2mL	99,8mL	100,0mL

Fonte: Autoria própria, 2023.

As amostras foram preparadas em laboratório, sem alterações de temperatura (T), e pressão (P). Os erlenmeyers foram levados a incubadora de agitação orbital, *Cienlab, CE 725*, durante 3h, à 50 rpm, empregando a temperatura ambiente, para o efeito de maior interação entre adsorvente e adsorvato.

Os experimentos foram deixados em repouso por 19 h, ainda vedados para que não ocorresse interferências com o ambiente. Logo após esse período, foram filtradas as alíquotas, descartando uma pequena quantidade inicial, na efetuação de limpeza do papel filtro. Realizou-se a ambientação das pipetas, salvo isso para se retirar contaminantes ou substâncias indesejáveis, dessa forma, seguiram para serem titulados com hidróxido de sódio (NaOH) de 0,2 mol.L⁻¹, aplicando-se o indicador fenolftaleína para a quantificação de adsorção do ácido oxálico, conforme a reação química:



Com os dados obtidos através dos experimentos, foi realizada a construção das isotermas de Langmuir empregando as equações 1 e 2.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O resultado do rendimento gravimétrico pode ser definido como a relação entre a quantidade de carvão produzido e a quantidade de madeira enfiada, sendo que a composição química da madeira e a faixa de temperatura empregada influenciam o rendimento de carvão (OLIVEIRA *et al.*, 2010; PETROFF & DOAT, 1978).

Os resultados de rendimento gravimétrico obtido neste estudo com a transformação de paletes em carvão foi igual a 66,05%. Valores estes extremamente satisfatórios, já que os métodos empregados em sistemas tradicionais na produção do carvão, de modo geral, estabelecem um rendimento na faixa de 25% a 33% (BARCELLOS, 2004).

O valor obtido de rendimento gravimétrico do trabalho, foi superior ao de Gomes (2019), que teve maior rendimento médio em carvão vegetal de 37,15%, proveniente da operação com temperatura final de pirólise de 400°C.



O elevado rendimento obtido com palete provavelmente é justificado por ser obtido com temperatura média baixa (350°C) e ser proveniente de madeira prensada (com alta densidade) capaz de suportar transporte de cargas pesadas (MACHADO *et al.*, 2014; BRIANE & DOAT, 1985).

Durante a pirólise ocorre a liberação dos materiais voláteis, o que contribui para a perda do volume e de massa (faixa de temperatura entre 300° a 500°C), acarretando a redução da densidade (GOMES, 2019).

A taxa de aquecimento, a natureza da matéria prima e a temperatura final, são os parâmetros relevantes que vão determinar a qualidade e o rendimento do material carbonizado (CLAUDINO, 2003).

O estudo de Brito & Barrichelo (1981) realizado com diferentes tipos de madeira da região amazônica concluiu que a densidade da madeira influi diretamente no rendimento em carvão vegetal. Adicionalmente, empresas produtoras de carvão vegetal tentam homogeneizar o diâmetro médio das toras enfiadas no intuito de reduzir finos (cinzas) e melhorar a padronização da qualidade do produto final (OLIVEIRA, 2009).

Os dados de Mello e Anunciação (2015), relatam que no ano de 2013 o custo de descarte do palete é de R\$ 31,50 (trinta e um reais e cinquenta centavos), ou aproximadamente \$ 6.30 (seis dólares e 30 centavos).

As empresas que processam e coletam os paletes, precificam de acordo com o local e a quantidade, e preferem manter os valores em sigilo. Enquanto isso, em sites de venda de palete, os paletes novos do modelo PBR, podem ter variação de R\$ 48,00 (quarenta e oito reais), ou aproximadamente \$ 9,60 (nove dólares e sessenta centavos) e padrão exportação com certificado R\$ 120,00 (cento e vinte reais) ou aproximadamente \$ 24 (vinte e quatro dólares), podendo sofrer alterações de acordo com a demanda do comprador.

É interessante perceber, que quando se faz uma comparação do preço do novo em 2024 e o preço do descarte há 10 anos, o descarte custa cerca de 66% do novo, mas nos dias atuais a porcentagem pode ser ainda maior. Então dessa forma, a produção do carvão com o palete se torna viável, devido ao seu baixo custo.

Os resultados do teor de umidade e voláteis e porcentagem de cinzas obtidos na matéria-prima são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Teor de umidade e voláteis e porcentagem de cinzas nos paletes.

Teor de umidade e voláteis	Teor de cinzas
12,12% ± 0,38	1,87% ± 0,37

Resultados expressos como Média ± Desvio padrão de análises em triplicata

Fonte: Autoria própria, 2023.



O teor de umidade e voláteis obtidos neste trabalho com o palete foi igual a 12,12 %, valores estes satisfatórios segundo Farinhaque (1981) pois para carvões produzidos a partir de madeira valores abaixo de 25% resultam em um aproveitamento energético satisfatório.

É válido ressaltar que uma das operações mais importantes na utilização da madeira é a secagem e que esta é inversamente proporcional ao poder calorífico (CAMPOS *et al.*, 1985). Os paletes empregados neste trabalho provavelmente foram submetidos a processos de desumidificação e preservação que corroboraram na determinação de umidade e voláteis.

Apenas o núcleo da madeira é utilizado para se fazer o palete, sendo que toda a madeira deve ser descascada, antes de passar pelo aquecimento, para a realização do tratamento térmico, com temperatura média de 56 °C ou 132 °F (LOGIMINAS, 2023).

A retirada da umidade da madeira pode ser feito através de tratamento térmico, gerando condições de diminuição a propensão de apodrecer, e o aumento da resistência às variações climáticas (LOGIMINAS, 2023).

O teor de cinzas tem relação com o teor de matéria inorgânica, a origem e a composição do material, que apresentam características que determinam a formação das cinzas, geralmente biomassas lignocelulósicas tem valores entre 0,2% a 9,5% (LOPES *et al.*, 2013).

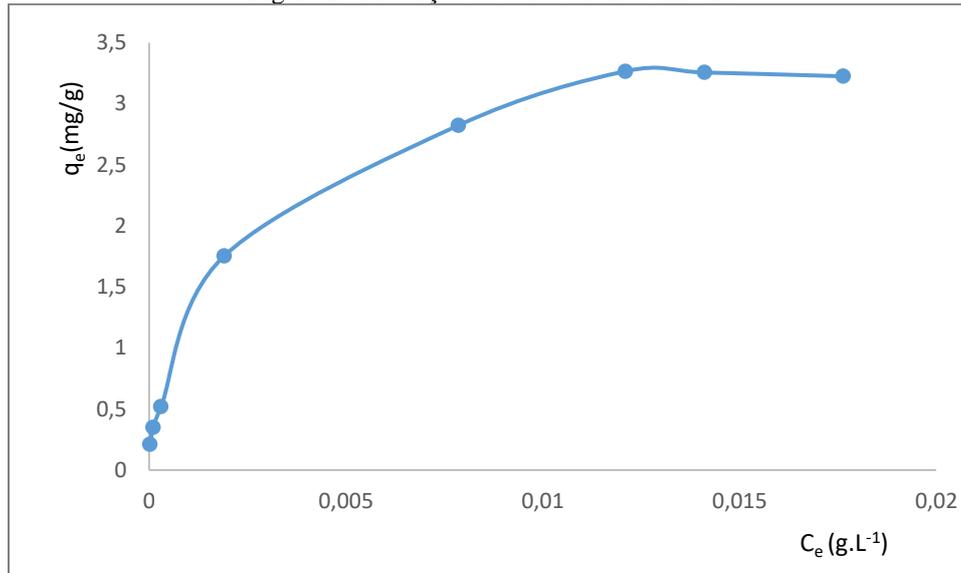
Os valores baixos de cinzas são sempre preferidos, neste estudo realizado com palete o valor obtido foi igual a 1,87 %, conforme os parâmetros que são estabelecidos para a obtenção do carvão (LOPES *et al.*, 2013).

O efeito que as cinzas causam na adsorção, é a redução devido ao fato de causar bloqueio da matriz carbônica, e conseqüentemente promover a adsorção preferencial de água, por conta do seu caráter hidrofílico (RAO *et al.*, 2000).

Os resultados da razão de massa de matéria-prima utilizada por massa produzida de carvão a partir de palete foi em média igual a $3,92 \pm 0,59 \text{ g.g}^{-1}$. Resultados abaixo dos obtidos por Santos e Hatakeyama (2012) que obtiveram valores de 4,5 a 5 g.g^{-1} empregando eucalipto.

A Figura 2 foi construída com valores de q_e (a quantidade máxima de soluto retido no adsorvente em equilíbrio) e C_e (concentração neste equilíbrio).

Figura 2 - Adsorção de ácido oxálico em CP.



Fonte: Autoria própria, 2023.

A visualização da Figura 2, permite observar uma isoterma côncava característica de uma adsorção extremamente favorável (SCHONS, 2010).

A isoterma obtida, do tipo I, mostra que o adsorvato e o adsorvente apresentam afinidade. Adicionalmente, se observa que a primeira região da curva se apresenta altamente vertical (evidenciando a formação da monocamada) provavelmente pela adsorção de micro poros seguidos do *plateau* (saturação limite correspondente ao enchimento dos micros poros) característico das isotermas descritas por Langmuir (BRUNAER *et al.*, 1938; HAMADAOU & NAFFRECHOW, 2007).

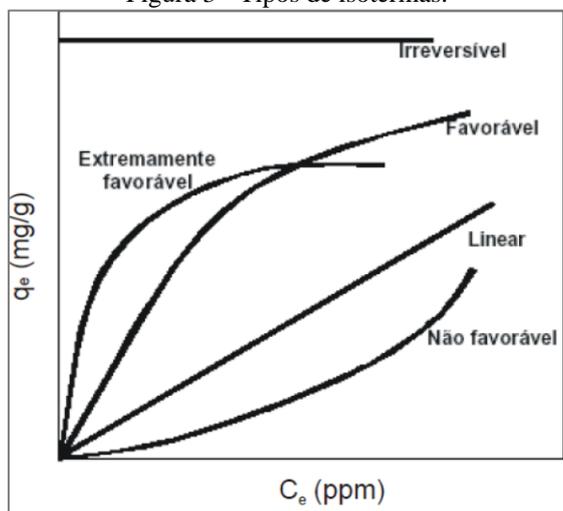
Na Figura 2 se nota uma saturação dos sítios ativos (*plateau*) no carvão de palete próximo a 0,014 g.L⁻¹, o que pode indicar uma alta capacidade de adsorção, em relação ao seu custo de produção, lembrando que este trabalho foi realizado com material descartado. Adicionalmente, se formou uma camada com concentração de 3,3 mol.L⁻¹.

Segundo Nascimento *et al.* (2014), conforme acontece o contato entre o adsorvato e o adsorvente, moléculas e íons circulam da solução para a superfície do adsorvente, até alcançar uma concentração de equilíbrio constante do soluto na fase líquida (C_e). A determinação da capacidade de adsorção do adsorvente (q_e), é predita no momento em que se alcança o estado de equilíbrio no sistema, conforme a equação 4 (SCHONS, 2010).

$$q_e = \frac{(C_0 - C_e) V}{m} \quad \text{equação 4}$$

O trabalho de Schons (2010) apresentou a Figura 3, com diferentes tipos de isotermas para facilitar a caracterização destas, onde q_e é a quantidade máxima de soluto retido no adsorvente em equilíbrio e C_e é a concentração neste equilíbrio.

Figura 3 - Tipos de isotermas.



Fonte: SCHONS, 2010.

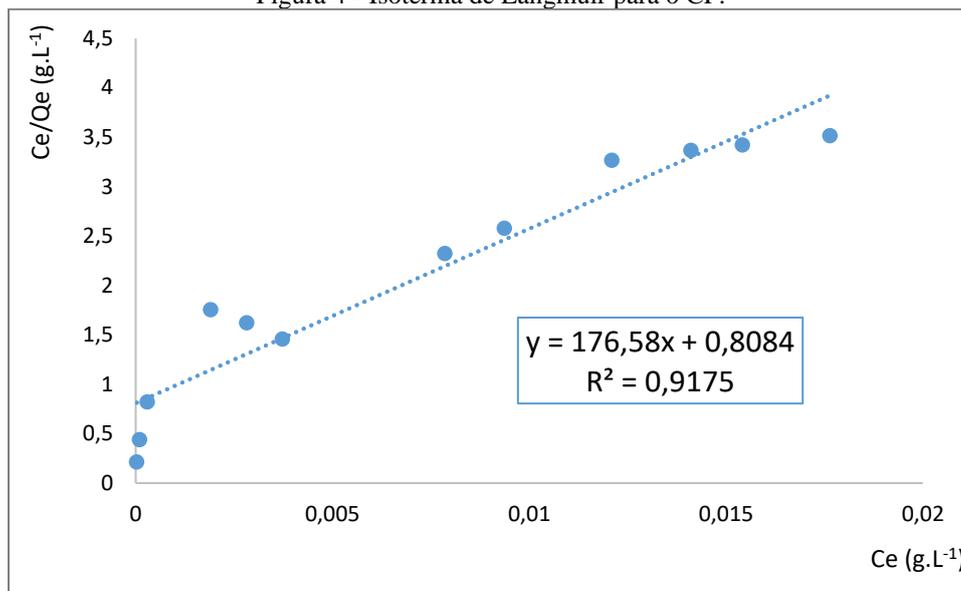
A comparação visual entre Figura 2 e Figura 3, indicam que a adsorção de ácido oxálico em CP foi extremamente favorável (SCHONS, 2010).

Isotermas do tipo H (*high affinity*), é um ato onde a curva do tipo L, sendo este um caso especial, que no momento da visualização, a superfície do adsorvente detém uma grande afinidade pelo soluto adsorvido (FALONE, VIEIRA, 2004).

As isotermas que se expressam como tipo H (*high affinity*), são características de quando o adsorvato possui pelo adsorvente, uma grande afinidade, funcionando do seguinte modo, a quantidade adsorvida no início é alta, mas logo após se alcança o equilíbrio (SCHONS, 2010).

Sobretudo, as isotermas de adsorção são curvas, que em temperatura constante, podem ser descritas por equações matemáticas, dado que, são oriundos de modelos físicos, que são determinados experimentalmente com a adsorção (DABROWSKI, 2001).

Figura 4 - Isoterma de Langmuir para o CP.



Fonte: Autoria própria, 2023.

A equação obtida na isoterma de Langmuir para o carvão de paletes foi igual a $\frac{C_e}{Q_e} = 176,58 C_e + 0,8084$. Com esta equação aliada a equação 2, se pode determinar os parâmetros da Tabela 3 (FAHMI *et al.*,2021).

Tabela 3 - Principais parâmetros obtidos a partir das isotermas de Langmuir.

Parâmetro	Q_m (mol.g ⁻¹)	K_L (L.mol ⁻¹)	R_L	Área carvão ativa (m ² .g ⁻¹)
CP	$5,66 \times 10^{-3}$	218,43	$6,96 \times 10^{-3}$	715,94

Fonte: Autoria própria, 2023.

Segundo as estimativas de FAHMI *et al.* (2021), para o carvão ativado a área superficial deste material sintético pode variar entre 100 a 500 m².g⁻¹ em função da temperatura de carbonização. Materiais produzidos a temperaturas de 350°C obtiveram 523 m².g⁻¹, enquanto que os obtidos a 250°C resultaram em 325 m².g⁻¹ seguidos pelos de área igual a 147 m².g⁻¹ a 150°C.

O CP obteve uma área ativa de 715,94 m².g⁻¹, valores superiores ao estimado por FAHMI *et al.*, (2021). No entanto, Melani *et al.*, (2021) obteve valores igual a 965,20 m².g⁻¹ no carvão de casca de coco e 887,35 m².g⁻¹ em carvão ativado de pinus comercializado. É interessante destacar que o CP foi feito com paletes tratados para suportar carga.

Costa *et al.* (2015) trabalhou com carvões de cascas de nozes, não ativados (408 m².g⁻¹) e ativados com ZnCl₂ (427 m².g⁻¹). Em relação a este trabalho o CP foi de 40 % a 43 % superior em área ativa.



A área ativa foi calculada, realizando a multiplicação da constante de Avogadro ($6,02 \times 10^{23}$ mol), pela área transversal do ácido oxálico ($2,10 \times 10^{-19}$ m²), e pela quantidade de matéria adsorvida por grama de adsorvente (mol.g⁻¹).

O nível de adsorção do carvão, para adsorver materiais é dependente de certos fatores, como a distribuição de sítios ativos ou poros, a superfície do carvão ativado, das moléculas adsorvidas e do processo de ativação (CLAUDINO, 2013).

A quantidade máxima de ácido oxálico adsorvido pelo carvão de palete foi igual a $5,66 \times 10^{-3}$ mol.g⁻¹. Esse valor foi superior em aproximadamente 50% ao estudo feito por FOYA *et al.* (2014), com carvão ativado de sementes de tamarindo com ácido oxálico que obteve valores iguais a $4,66 \times 10^{-3}$ mol.g⁻¹.

Na comparação entre a quantidade máxima adsorvida pelo CP e o estudo de Melani *et al.* (2021), se pode notar que o valor ficou aproximadamente 23% abaixo dos valores médios ($7,35 \times 10^{-3}$ mol.g⁻¹).

A constante de Langmuir (K_L), a capacidade de adsorção teórica na monocamada obtida no CP foi igual a 218,43 L.mol⁻¹, valor este superior ao obtido por Foya *et al.* (2014), ($58,96$ L.mol⁻¹) com carvão de sementes de tamarindo e próximo ao do estudo de Melani *et al.* (2021), com carvões de casca de coco verde ($167,59$ L.mol⁻¹) e carvão ativado comercial de pinus ($227,16$ L.mol⁻¹).

O valor de R_L no CP foi acima de zero e abaixo de um indicando que o processo de adsorção foi favorável (FERNANDES, 2008).

Os resultados obtidos com o CP mostram um produto com potencialidade para contribuir como adsorvente. Transformar o palete descartado em adsorvente (carvão) agrega valor a este resíduo preservando o meio ambiente e corroborando para minimizar a prática de abandono deste material de forma irregular.

É importante salientar que a utilização do palete descartado para a produção de um novo produto (carvão) pode promover maior consciência no setor de logística, de armazenamento e de produtividade ampliando as próximas possibilidades de se reaproveitar o material descartado.

O Brasil importa carvão ativado da China com um custo na faixa de R\$ 3.000,00 (três mil reais) a R\$ 7.400,00 (sete mil e quatrocentos reais) por tonelada, ou seja, entre \$ 600 (seiscentos dólares) a \$ 1480.00 (mil quatrocentos e oitenta dólares) (MADE IN CHINA, 2023). Produzir o próprio carvão a partir de palete (descartado) pode ser um diferencial na relação custo/benefício de várias empresas.

A utilidade do carvão ativado varia enormemente pois é aplicado desde a época romana em processos primários de purificação de água, fármacos, higiene pessoal, purga de gases, recuperação de óleos, depuração de esgotos, entre outros (FOYA *et al.*, 2014). Estudos envolvendo maiores fontes de carvão ativado devem ser incentivados no intuito de otimizar os suprimentos ambientais.

Contudo, o carvão feito de palete se mostrou com grande potencial, em se estabelecer como um bom adsorvente, além disso, sendo viável economicamente e ambientalmente.



4 CONCLUSÃO

Este trabalho transformou um resíduo sólido, o palete vencido, em carvão. O resultado de rendimento gravimétrico obtido foi igual a 66,05%, valor este alto que proporciona um excelente custo/benefício, uma vez que a matéria-prima foi doada, ou é necessário receber valores das empresas para realizar o descarte adequado.

Com a construção da isoterma de Langmuir, aplicando a adsorção de ácido oxálico, ficou evidente que a adsorção foi favorável com CP, sendo que a saturação dos sítios foi próxima a $0,014 \text{ g.L}^{-1}$ com uma camada próxima a concentração de $3,3 \text{ mol.L}^{-1}$.

As isotermas de Langmuir obtidas através do experimento, apresentaram resultados significantes, com valor de r^2 igual à (0,9175).

O CP obteve uma área ativa de $715,94 \text{ m}^2.\text{g}^{-1}$, estes resultados foram obtidos com paletes vencidos, Valores este 40 % a 43 % superiores ao encontrado por Costa *et al.* (2015) com carvões de cascas de nozes, não ativados ($408 \text{ m}^2.\text{g}^{-1}$) e ativados com ZnCl_2 ($427 \text{ m}^2.\text{g}^{-1}$).

A quantidade máxima de ácido oxálico adsorvido pelo carvão de palete foi igual a $5,66 \times 10^{-3} \text{ mol.g}^{-1}$. Esse valor ficou aproximadamente 23% abaixo dos valores médios obtidos por Melani *et al.*, 2021 que trabalhou com diferentes carvões de casca de coco com valor médio igual a $7,35 \times 10^{-3} \text{ mol.g}^{-1}$.

É importante lembrar que se trabalhou com o palete de madeira, que passou por todo um ciclo de utilização na indústria, e que em muitos casos após a sua saturação é descartado de modo irregular na natureza.

Esse trabalho se empenhou em estudar as capacidades de adsorção, do material descartado, planejando e prevendo se haveria viabilidade para uma nova forma de utilização do produto, com o principal viés de contribuir ao meio ambiente.

Transformar o material descartado em adsorvente, agrega valor ao produto e além disso, diminui substancialmente o custo da indústria com o descarte regular.



REFERÊNCIAS

AGUIAR, . C.; SILVA, K. A.; EL-DEIR, S. G. Resíduos sólidos: impactos ambientais e inovações tecnológicas. 1. ed. - Recife: EDUFRPE, 2019. 557p.

AMÉRICO-PINHEIRO, J. H. P.; BENINI, S. M.; AMADOR, M. B. M. Recursos Hídricos: gestão e sustentabilidade. Ed. Tupã, 2016. Disponível em: www.google.com.br/books/edition/Recursos_h%C3%ADricos_gest%C3%A3o_e_sustentabil/MGPvDwAAQBAJ?hl=pt-BR&gbpv=1&dq=Recursos+h%C3%ADricos:+gest%C3%A3o+e+sustentabilidade&printsec=frontcover. Acesso em: 12 abr. 2023.

AOAC. Official Methods of Analysis Chemistry (16th ed.), Association of Official Analytical Chemists. 1988.

ATKINS, P.; PAULA, J. Físico-Química, vol. 2, 10ª edição. Grupo GEN, 2017. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521634751/>. Acesso em: 04 jun. 2023.

ATKINS, P. Físico-Química - Fundamentos, 6ª edição. Grupo GEN, 2017. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521634577/>. Acesso em: 05 mai. 2023.

BARCELLOS, D. C. Desempenho de um forno de carbonização semi-contínuo tipo container para produção de carvão vegetal. Revista Biomassa e Energia Renabio, n.2, p. 183-189, 2004.

BERTAGLIA, P. R. Logística e gerenciamento da cadeia de abastecimento. São Paulo: Saraiva, 2005.

BRIANE, D.; DOAT, J. Guide technique de la carbonisation: la fabrication du charbon de bois. Aix-en-Provence, ÉDISUD, 1985. 180p.

BRITO, J. O.; BARRICHELO, L. E. G. Considerações sobre a produção de carvão vegetal com madeiras da Amazônia. 1981. Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais, Departamento de Silvicultura da ESALQ – USP, Série Técnica, Piracicaba – SP.

CAMPOS, J. C.; ASPIAZÚ, C.; RIBEIRO, J. C.; CAMPOS, J. C. C.; VALENTE, O. F. Sociedade de investigações florestais. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG. Revista Árvore, n. 9, jul.-dez. de 1985.

CLAUDINO, A. Preparação de carvão ativado a partir de turfa e sua utilização na remoção de poluentes. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis-SC. 2003. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/86346/192226.pdf?sequence>. Acesso em: 07 nov. 2023.

COSTA, P. D.; FURMANSKI, L. M.; DOMINGUINI, L. Produção, caracterização e aplicação de carvão ativado de casca de nozes para adsorção de azul de metileno. Revista Virtual de Química, n. 4, p. 1272 – 1285, mar. 2015. Disponível em: <http://static.sites.s bq.org.br/rvq.s bq.org.br/pdf/v7n4a14.pdf>. Acesso em: 11 out. 2023.

CZAJCZYNSKA, D., ANGUILANO, L., GHAZAL, H., KRZYZYNSKA, R., REYNOLDS, A.J., SPENCER, N., JOUHARA, H. Potential of pyrolysis processes in the waste management sector. Thermal



Science and Engineering Progress, n. 3, 2017. Disponível em: <https://eprints.kingston.ac.uk/id/eprint/38381/6/Ghazal-H-38381-VoR.pdf>. Acesso em: 01 out. 2023.

DABROWSKI, A. Adsorption - from theory to practice. *Advances in Colloid and Interface Science*, v. 93, p. 135–224, 2001. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0001868600000828>. Acesso em 01 ago. 2023.

FAHMI, A. G.; ABIDIN, Z.; KUSMANA, C; NOOR, E. Utilization of Palm Kernel Meal (PKM) as activated charcoal to remove organic pollutants. *Journal of Physics: Conference Series*, n.1882, 2021. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1882/1/012117/pdf>. Acesso em 13 nov. 2023.

FALONE, S. Z., VIEIRA, E. M. Adsorção / dessorção do explosivo tetril em turfa e em argissolo vermelho amarelo. Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo. *Revista Química Nova*, v. 27, nº6, p. 849 – 854, 2004. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/DDLntbmnDZ3WgMp3mMX3TRL/?lang=pt&format=pdf>. Acesso em: 01 dez. 2023.

FARINHAQUE, R. Influência da umidade no poder calorífico da madeira de bracatinga (*Mimosa scabrella*, Benth), e aspectos gerais de combustão. Curitiba: FUPEF, 1981. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPF-2009-09/4887/1/sturion.pdf>. Acesso em 30 jul. 2023.

FERNANDES, F. L. Carvão de endocarpo de coco da baía ativado quimicamente com $ZnCl_2$ e fisicamente com vapor d'água: produção, caracterização, modificações químicas e aplicação na adsorção de íon cloreto. 2008. Tese (Doutorado em química) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2008. Disponível em: http://www.quimica.ufpb.br/ppgq/contents/documentos/teses-e-dissertacoes/teses/2008/Tese_Fabiana_L_Fernandes.pdf/@@download/file/Tese_Fabiana_L_Fernandes.pdf. Acesso em: 29 set. 2023.

FONSECA, L. H. A. Reciclagem: o primeiro passo para a preservação ambiental, 2013. Google Acadêmico. Disponível em: <https://semanaacademica.org.br/system/files/artigos/reciclagem.pdf>. Acesso em: 29 mai. 2023.

FOYA, H.; MDOE, J. E. G.; MKAYULA, L. L. Adsorption of Maleic and Oxalic Acids on Activated Carbons Prepared from Tamarind Seeds. *International Journal of Engineering Research & Technology*, n.3, apr. 2014. Disponível em: <https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/64430101/adsorption-of-maleic-and-oxalic-acids-on-activated-carbons-prepared-from-tamarind-seeds-IJERTV3IS040652-libre.pdf>. Acesso em 11 nov. 2023.

GAMA, L.; STRÖHER, G. R.; STRÖHER, G. L. Diferentes experimentos para a produção de carvão vegetal com cascas de coco verde. *FOCO*. v.15, 2022.

GOMES, F. S. Investigando a temperatura de pirólise e o carvão vegetal. Monografia, 2019. UFES – Centro de Ciências Agrárias e Engenharias. Disponível em: https://florestaemadeira.ufes.br/sites/florestaemadeira.ufes.br/files/field/anexo/tcc_felipe_da_silva_gomes.pdf. Acesso em: 04 dez. 2023.

GÜLLICH, R. I. C.; UHMANN, R. I. M. Fronteiras para sustentabilidade. Ponta Grossa, PR: Atena Editora, p.33, 2019.



HASS MADEIRAS. Paletes de madeira: terminologia. Venâncio Aires: Hass Madeiras, 2022. Disponível em: <https://haaspellets.com.br/haas-madeiras-palete-madeira-terminologia.pdf>. Acesso em 11 mar. 2023.

LIMA, E. G.; SILVA, D. A. Resíduos gerados em indústrias de móveis de madeira situadas no polo moveleiro de Arapongas-PR. Floresta, n. 1, 2005. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/floresta/article/view/2434/2036>. Acesso em: 29 mai. 2023.

LOGIMINAS. Matéria sobre pallets tratados termicamente. 2023. Disponível em: <https://logiminas.com.br/materia-sobre-pallets-tratados-termicamente/>. Acesso em: 02 dez. 2023.

MELLO, M. F.; ANUNCIACÃO, M. A. Logística reversa de paletes – Um estudo de caso. Engevista, v.17, n.1, p.136-151, Março 2015.

LOPES, C.W., BERTELLA, F., PERGHER, S.B.C., FINGER, P.H., DALLAGO, R.M., PENHA, F.G. Synthesis and characterization of activated carbons derived from corn cob. Perspectiva, n. 139, p. 27-35, 2013. Disponível em: https://www.uricer.edu.br/site/pdfs/perspectiva/139_360.pdf. Acesso em 01 jun. 2023.

MACHADO, G. O; VOGEL, F.; SILVA, M. M. Influence of temperature carbonization in physical, chemical and energy of charcoal from cinamomo. AMBIÊNCIA, n. 1, p. 83-96, 2014. Disponível em: <https://revistas.unicentro.br/index.php/ambiencia/article/view/1967>. Acesso em: 22 jul. 2023.

MADE IN CHINA. Connecting buyers with Chinese Suppliers. 2023. Disponível em: https://pt.made-in-china.com/tag_search_product/Activated_Carbon_Price_nein_1.html. Acesso em: 12 nov. 2023.

MELANI, L. B.; STRÖHER, G. R.; STRÖHER, G. L. Estudo comparativo das Isotermas de Langmuir e Freundlich em carvão de casca de coco verde com carvão comercial ativado. Brazilian Journal of Development, n. 3, p. 22840–22851, 2021. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/25898>. Acesso em: 23 mai. 2023.

MENDES, P. R. Supply Chain: uma visão técnica e estratégica. São Paulo, Ed. Blücher, 2023.

MIMURA, A. M. S.; SALES, J. R. C.; PINHEIRO, P. C. Atividades Experimentais Simples Envolvendo Adsorção sobre Carvão, Revista Química Nova na Escola, n 1, fev. 2010. Disponível em: <https://www.yumpu.com/pt/document/view/6313363/adsorcao-sobre-carvao-quimica-nova-na-escola>. Acesso em: 10 ago. 2023.

MORAIS, E. D. Produção de carvão ativado a partir do mesocarpo do coco-da-baía (cocosnuciferalinn) utilizando H₃PO₄, CH₃COONa e KOH como ativantes. 2014. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2014. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/jspui/bitstream/123456789/22732/1/EveraldoDantasDeMoraes DISSERT.pdf>. Acesso em: 21 ago. 2023.

NASCIMENTO, R. F.; LIMA, A. C. A.; VIDAL, C. B.; MELO, D. Q.; RAULINO, G. S. C. Adsorção: Aspectos teóricos e aplicações ambientais. Estudos da Pós-Graduação. Fortaleza: Imprensa Universitária, 2014. Disponível em: https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/10267/1/2014_liv_rfdnascimento.pdf. Acesso em: 10 nov. 2023.

OLIVEIRA, R. L. M., Instrumentação e análise térmica do processo de produção de carvão vegetal. 2009. Dissertação (mestrado). Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, MG.



OLIVEIRA, R. L. M.; MULINA, B. H. O.; JÚNIOR, E. A.; PESSOA, J. S.; CARVALHO, S. R. Análise térmica e do rendimento gravimétrico em forno de produção de carvão vegetal. ABCM. VI CONEM. Campina Grande-PB, 2010. Disponível em: <https://www.abcm.org.br/anais/conem/2010/PDF/CON10-0963.pdf>. Acesso em: 05 nov. 2023.

PERRY, J. Manual do Engenheiro Químico. 6.ed.México: Mc Graw Hill, 1998.

PETROFF, G; DOAT, J. Pyrolyse des bois tropicaux: influence de la composition chimique des bois sur les produits de distillation. Bois et forêts des tropiques. Nogentsur-Marne, n. 177, jan/fev.1978.

RAO, R.M.; et al. Production of granular activated carbons from select agricultural by-products and evaluation of their physical, chemical and adsorption properties. Bioresource Technology, vol. 71, pág. 113-123, 2000.

SANTOS, S. F. O.; HATAKEYAMA, K. Processo sustentável de produção de carvão vegetal quanto aos aspectos: ambiental, econômico, social e cultural. Produção, n.2, p. 309-321, 2012. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/prod/a/gcrKw6mY3TfDRrxSZ9kKHDp/?lang=pt&format=pdf>. Acesso em: 25 ago. 2023.

SBPALLETS. Pallet de madeira, quanto tempo dura?. SB pallets : apoio à logística, 2022. Disponível em: <https://www.sbpallet.com.br/pallet-de-madeira-quanto-tempo-dura/#:~:text=Devido%20ao%20fato%20de%20absorverem,podem%20durar%20at%C3%A9%2030%20anos>. Acesso em: 10 out. 2023.

SCHONS, E. Fenômenos interfaciais; Aula 5- Adsorção, isothermas e filmes monomoleculares. UFG-Campus Catalão. Disponível em: https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/596/o/fen_int_5.pdf. Acesso em: 01 nov. 2023.

SILVA, T. H. G.; STROHER, G. R.; STRÖHER, G.L. Casca de coco verde na produção de carvão vegetal ativado. *International Journal of Development Research.* , v.12, , 2022.

SILVA, A. P.; ANDRADE, A. M.; JÚNIOR, A. F. D. Investigando o uso de resíduos do processamento da madeira de eucalipto para a produção de combustíveis sólidos compactados. Revista Matéria, 2020. Disponível em: www.scielo.br/j/rmat/a/Dj8XHRqnKJtZX39FGRkvyS/?lang=pt. Acesso em: 21 abr. 2023.

VALENCIA, C.A.V. Aplicação da adsorção em carvão ativado e outros materiais carbonosos no tratamento de águas contaminadas por pesticidas de uso agrícola. 2007. Dissertação de mestrado (Mestre em Engenharia Metalúrgica e Materiais) - Pontifícia Universidade Católica, Rio de Janeiro, 2007. Disponível em: <https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/colecao.php?strSecao=resultado&nrSeq=10607@1> . Acesso em: 08 nov. 2023.