

AVALIAÇÃO DA COMPOSIÇÃO DA CASCA DE COCO VERDE IN NATURA E PÓS-TRATAMENTO QUÍMICO COMO BIOMASSA ADSORVENTE

Andrezza de Araújo Silva Gallindo¹
Eivaldo Genuíno Lima²
Sara Regina Ribeiro Carneiro de Barros³
Pablícia Oliveira Galdino⁴
Meiry Gláucia Freire Rodrigues⁵

RESUMO

A casca de coco verde é um resíduo natural abundante no Brasil. Segundo ABIR e Euromonitor, haverá uma expansão anual média de consumo de água de coco no Brasil de 9,2% em volume até 2020 e a casca residual é uma biomassa rica para aplicação na química verde. Sua composição em material orgânico, após ativação alcalina/ácida, resulta na redução do índice de cristalinidade da celulose (ICr) e potencialização da adsorção de metais. Diante disto, foi realizada uma ativação alcalina/ácida e avaliada na adsorção do níquel (Ni^{2+}). O pó de casca de côco in natura (PCCV) e ativado (APCCV) foi caracterizado por difração de raios X (DRX) e Espectroscopia de Fluorescência de raios X por energia dispersiva (FRX). Os resultados da umidade para as amostras PCCV e APCCV foram 5 % e 18 %, respectivamente. A partir dos resultados de DRX foi possível identificar estrutura amorfa e os valores dos índices de cristalinidade, nas posições 2θ de $22,6^\circ$ e $18,7^\circ$, resultou na redução de 23,8 % para 14,4 %. Baseado nos resultados de FRX constata-se redução no teor de K, Ca, Na, Mg, Si, Cl, Ti e Fe e aumento nos teores de Al e Ni a amostra ativada (APCCV). Conclui-se, portanto que o aumento na umidade e redução no índice de cristalinidade causada pela ativação alcalina/ácida no pó de côco verde foi favorável a adsorção do níquel.

Palavras-chave: Coco verde, cristalinidade, composição mineral e adsorção.

1. INTRODUÇÃO

A casca de coco verde é uma biomassa residual abundante no Brasil, sendo o País Sul-americano considerado como o primeiro produtor mundial da bebida. De 1,9 bilhões de cocos

¹ Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, andrezzaaraujos.g@gmail.com;

² Pesquisador do Instituto Nacional do Semiárido - INSA, erigenuino@hotmail.com;

³ Doutora Professora titular da Unidade Acadêmica de Química da Universidade Estadual da Paraíba - UEPB, regina_pb@hotmail.com;

⁴ Doutora Professora titular da Unidade Acadêmica de Química da Universidade Estadual da Paraíba - UEPB, pabliciaog@hotmail.com;

⁵ Professora orientadora: Doutora Professora titular da Unidade Acadêmica de Engenharia Química da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, meirygfr@hotmail.com.

colhidos em 2015 no Brasil - o dobro da produção de 20 anos antes, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) - 70% eram verdes e suas cascas são um resíduo natural e abundante no Nordeste (JORNAL ESTADUAL DE MINAS, 2018). Segundo um estudo da Euromonitor divulgado pela ABIR (Associação Brasileira das Indústrias de Refrigerantes e de Bebidas não alcoólicas) em 2019, o mercado brasileiro de água de coco deve ter uma expansão anual média, em volume, de 9,2% até 2020. A biomassa casca de coco verde contém composição rica para diferentes aplicações e vêm sendo explorada como fonte alternativa de diferentes processos da química verde.

A caracterização química do pó da casca de coco verde proveniente do estado do Ceará no Laboratório de Solos da Embrapa Agroindústria tropical (SILVA, 1999), apresenta composição do material em macro e micronutrientes como: N (6,52 g/Kg), P (1,42 g/Kg), K (11,5 g/Kg), Ca (6,8 g/Kg), Mg (1,79 g/Kg), Na (12,5 g/Kg), Fe (1,97 g/Kg), Cu (6,6 mg/Kg), Zn (31,8 mg/Kg), Mn (23,8 mg/Kg), Matéria orgânica (72,58 mg/Kg).

Segundo Oliveira (2010) avalia a composição de macro e micro nutrientes da casca de coco e sugere sua utilização como adubo em compostagem com esterco e tratamento químico para remoção de tanino (SILVEIRA et al. 2002; PEREIRA et al., 2004; MESQUITA et al., 2006; BEZERRA et al., 2006a; CARVALHO et al., 2006; UCHÔA, 2013; SILVA, 2014). Sua matéria orgânica sugere aplicação como matéria prima para obtenção de Enzimas celulolíticas (produção de celulasas) (OLIVEIRA, 2010), seu teor de cinzas o classifica como fonte alternativa de energia através de sua combustão ou ainda para obtenção de combustíveis renováveis (LIRA et. al., 2014; CABRAL et. al., 2017).

A casca de coco é constituída por mesocarpo (feixe de fibras) e outra fração denominada epicarpo (epiderme lisa, casca verde), que se apresenta agregada às fibras e pode ser transformada em pó. A composição química da casca de coco varia conforme a fonte, a época do ano e a quantidade de chuvas (ROSA, et. al. 2001; OLIVEIRA, 2010).

A casca de coco verde, epiderme lisa, é considerada um excelente adsorvente de metais pesados, desde que sofra tratamento químico e sua estrutura física seja alterada (PINO 2005; SOUSA 2007; RODRIGUES et al. 2008; OLIVEIRA 2010; MAGALHÃES et al. 2011; SILVA et al. 2013; LUZARDO et al. 2015).

A adsorção de metais tóxicos por biomassas é um técnica sustentável que vêm sendo estudada entre pesquisadores (EWECHAROEN et al., 2008; SAEED et. al., 2005; PANDA et al., 2007; KUMAR et. al., 2011; SUDHA et. al., 2015; RAVAL et al., 2016).

A utilização do coco verde como material adsorvente, apresenta grande potencial devido ao seu elevado teor de matéria orgânica (-OH, -NH, -CH, -COO, -COO, -C=O, -CN, -P=O, -P-OH, -P-O-C) composta principalmente por lignina, cerca de 35 -45%, e celulose, cerca de 23 -43 % (PINO, 2005). A celulose e a lignina são biopolímeros reconhecidamente associados à remoção de metais pesados (HUNT, 1986; GABALLAH, 1994; GABALLAH, 1997). A celulose é definida como um polímero de cadeia de glicose, assim elevados conteúdos de glicose representam elevados teores de celulose, de forma similar que elevados conteúdos de xilose indicam elevados teores de hemicelulose. A lignina é uma substância que age como aglutinante mantendo as cadeias de celulose unidas, a combinação das duas confere as plantas resistências e flexibilidade (GOMES, 2000).

O coco verde é um vegetal proveniente da família Arecaceae (*Cocos nucifera* (L.) Arecaceae) e popularmente conhecido como coco-da-bahia ou coco-da-praia (LIMA, 2015). Assim como em outros vegetais, sua parede celular age naturalmente como uma proteção física contra microrganismos que sintetizam enzimas hidrolíticas que promovem o rompimento das fibras da parede celular vegetal (SOUSA et al., 2009).

Substratos relacionados com fatores que afetam a digestibilidade enzimática são normalmente associados a uma macro-escala, com a porosidade da parede celular e o tamanho da partícula da biomassa lignocelulósica. Em micro-escala, esses fatores estão associados à *crystalinidade da celulose* e ao grau de polimerização, ramificações das cadeias hemicelulósicas, composição da lignina, entre outros. Uma mudança nestas propriedades físico-químicas relacionadas a parede celular vegetal, pode ser feita através de uma etapa de pré-tratamento, como por exemplo a ativação alcalina/ácida na biomassa (SOUSA et al., 2009).

Segundo Araújo (2016) tratamento químicos ácidos e alcalinos em cascas de coco verde promovem a ruptura do complexo lignina-celulose-hemicelulose, bem como a remoção de cada uma destas frações através da técnicas de pré-tratamento por deslignificação, no qual a remoção da lignina e hemicelulose promove a redução da cristalinidade da celulose e, conseqüentemente, aumento da porosidade do material. O tratamento químico, uma deslignificação por ativação alcalina/ácida, aplicada por Sousa (2007) em pó de casca de coco verde, para avaliar interferência na adsorção de metais pelo pó, resultou numa superfície do material tratado composta de poros com faixa de diâmetro menor que o material in natura, o que favoreceu a uma melhor retenção dos íons metálicos, devido a uma maior área superficial de contato.

A celulose, um homopolissacarídeo de cadeia linear, é uma moléculasimples presente na parede celular de vegetais, que consiste de um conjunto de anéis de β -D glicopirranose unidas por ligações do tipo β -D (1-4) glicosídicas. Essas ligações favorecem o crescimento linear da cadeia conferindo insolubilidade em água, considerável grau de cristalinidade, elevada massa molecular e estrutura rígida (SAXENA; BROWN, 2008).

As hemiceluloses são o segundo grupo polissacarídico o mais abundante na natureza depois da celulose e, dependendo do tecido, são responsáveis por 10-30% da biomassa seca de um tecido (SCHADEL et al., 2010). Geralmente, as hemiceluloses são depositadas na parede celular em estágio anterior a lignificação, assemelhando-se, estruturalmente, mais com a celulose do que com a lignina. O agregado celulose/hemicelulose confere rigidez às paredes celulares (CHENG et al., 2009).

A lignina é uma substância amorfa, de natureza aromática e muito complexa, e faz parte da parede celular e da lamela média dos vegetais. Pode ser definida como um material polifenólico amorfo com estrutura tridimensional baseada em três precursores monoméricos: os álcoois coniferílico, sinapílico e p-cumarílico (DENCE & LIN, 1992).

A região amorfa da casca de coco verde diz respeito à uma estrutura formada por arranjos atômicos aleatórios e sem simetria ou ordenação de longo alcance. A região cristalina está relacionada à organização dos átomos de forma geométrica. A partir da aplicação na casca de coco verde de um pré-tratamento químico, a **hidrólise ácida** tem por finalidade a solubilização da hemicelulose do material e a **hidrólise alcalina** auxilia na solubilização e extração da lignina presente na biomassa, aumentando a superfície interna e diminuindo o grau de polimerização e cristalinidade (ARAÚJO, 2016).

O índice de cristalinidade (ICr) trata-se de um método empírico desenvolvido por Segal L. et. al. (1959), para determinar a cristalinidade da celulose nativa utilizando um difratômetro de raios X usando as técnicas de focalização e transmissão. O "índice de cristalinidade" dos raios X é correlacionado com a cristalinidade da hidrólise ácida, a recuperação da umidade, a densidade, o grau de nivelamento dos valores de polimerização e os valores de absorvância no infravermelho para mais de 40 amostras, com erro padrão de 6,5%. Desde do desenvolvimento da formula, diversos autores a utilizam para determinar o índice de cristalinidade de materias lignocelulósicos (RABELO, 2008; YOSHIDA, 2008; RUIZ, 2011; GABHANE *et al.*, 2011; GONÇALVES, 2014).

O objetivo deste trabalho foi obter o pó de côco verde e ativar alcalina/ácida para melhorar as suas características para a adsorção do níquel.

2. METODOLOGIA

O método proposto neste trabalho é apresentado nas etapas do fluxograma do processo de produção do pó de casca de coco verde (Figura 1).

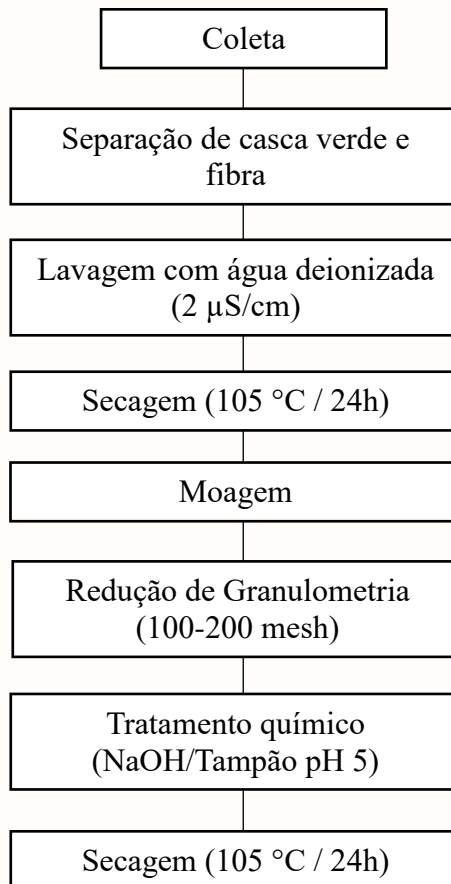


Figura 1 - Fluxograma do Processo de Produção do Pó de casca de coco verde.

Fonte: O autor, 2019.

2.1 Produção do pó de casca de coco verde

O pó de casca de coco verde foi produzido por meio da adaptação de OLIVEIRA, 2010. Os cocos verdes in natura foram coletados na COCO BOM Ltda, localizada em Campina Grande. Em seguida as cascas de 5 cocos verdes sofreram as seguintes etapas para obtenção do pó: separação por corte da casca verde (epicarpo) e das fibras (mesocarpo), seleção das cascas verdes, lavagem com água deionizada 2 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para remoção de impurezas superficiais, secagem em estufa convencional QUIMIS Q317M-32, à 105,3°C por

24h (procedimento padrão do Instituto Adolfo Luiz (2008) para secagem de alimentos em estufa convencional), seguida de repouso das cascas secas em dessecador a vácuo por 20 minutos e medição do teor de umidade em balança com infravermelho Marte ID 200. A secagem e foi realizada em triplicata.

Em seguida as cascas secas sofreram moagem em moinho de rotor e separação granulométrica utilizando conjunto de tamises de 45 mesh, 80 mesh, 100 mesh, 200 mesh e 1 panela. A granulometria de 100-200 mesh de pó de casca de coco verde produzida, foi coletada e armazenada em saco hermético até os experimentos de tratamento químico (Figura 2a). Uma porção do pó in natura foi armazenada para posteriores análises de DRX E FTR.

2.2 Tratamento químico e teor de umidade

As frações separadas em faixas granulométricas de 100-200 mesh foram ativadas com soluções alcalinas (NaOH 1,5 mol/L) por 3h à temperatura ambiente. Posteriormente foram lavadas em sistema de filtração com água deionizada 2 $\mu\text{S}/\text{cm}$, seguida de solução tampão de ácido acético/acetato de sódio (pH 5,0), novamente com água deionizada 2 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e colocadas para secar novamente à temperatura de 105,3°C por 24h. Em seguida, as frações foram deixadas no dessecador a vácuo até atingirem temperatura ambiente. Ao atingirem temperatura ambiente, foram armazenadas em sacos herméticos até a realização dos experimentos de teor de umidade (Figura 2b).

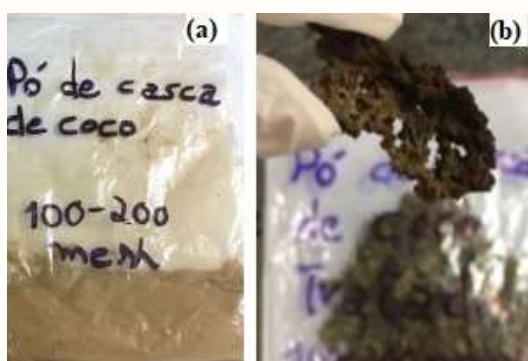


Figura 2 – Pó de casca de coco verde in natura - PCCV (a) e Pó de casca de coco verde pós-ativação alcalina/ácida – APCCV (b).

O teor de umidade do pó foi novamente determinado utilizando uma Balança de infravermelho Marte ID 200. Na sequência o pó foi aplicado à um resíduo oriundo de processo de niquelagem com concentração de Níquel (Ni^{2+}) de 10.940,0 ppm, em sistema de

adsorção batelada com agitação por 3h em um Shaker TS-2000A VDRL. O sistema foi testado em triplicata e a biomassa residual oriunda de uma amostragem dos 3 testes, foi seca em estufa com circulação de ar à 100°C por 24h. A biomassa seca foi armazenada em sacos herméticos até a realizações dos testes de DRX e FRX.

2.3 Difração de Raios - X (DRX) e Icr (Índice de Cristalinidade)

A análise de Difração de Raios – X (DRX) foi realizada nos materiais lignocelulósicos (pó de casca de coco verde) in natura e pré-tratados, utilizando o Difratorômetro Shimadzu XRD – 6000, com radiação $CuK\alpha$ e método de Varredura com uma velocidade de $2^\circ(2\theta)/\text{min}$, com ângulo 2θ percorrido de 0 a 35° .

O índice de cristalinidade (ICr) foi determinado de acordo com a Equação 2.2, segundo Segal L. et. al. (1959):

$$ICr = \frac{(I_c - I_{am})}{I_c} * 100 \quad \text{Equação 2.1}$$

Sendo:

ICr = Índice de cristalinidade (%);

I_c = intensidade do pico de posição 2θ ($22,58^\circ$, é a intensidade máxima (em unidades arbitrárias) de difração da estrutura;

I_{am} = intensidade do pico 2θ ($18,7^\circ$), é a intensidade de difração amorfa nas mesmas unidades.

2.4 Espectrômetro de Fluorescência de Raios – X (FRX)

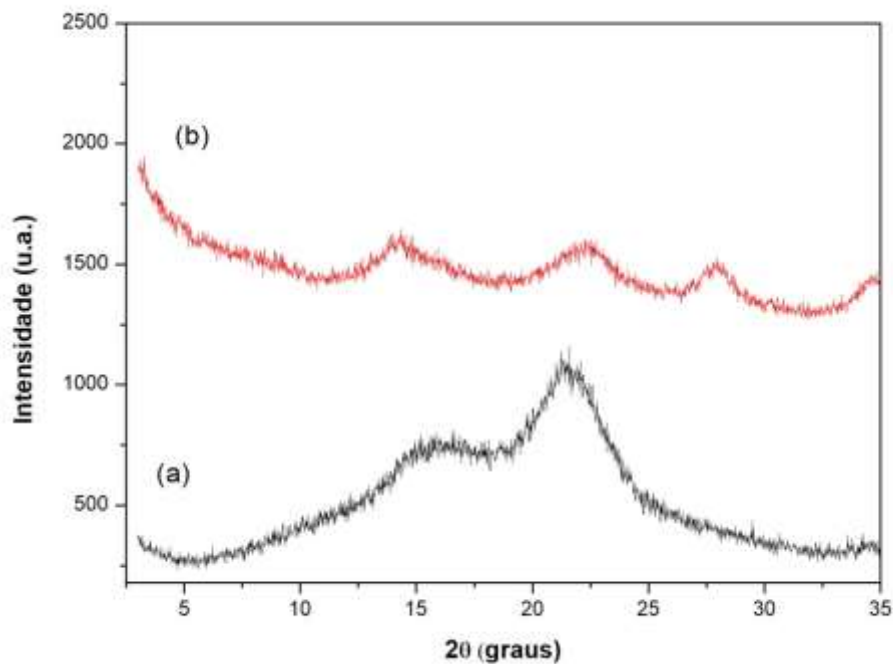
A avaliação da composição do pó da casca de coco verde foi realizada pela técnica FRX. Foi utilizado um espectofotômetro de raios X por energia dispersiva BRUKER S2 Ranger, sendo determinada a composição mineral do sólido, in natura e após tratamento químico, com aplicação do pó tratado em resíduo de niquelagem.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Difração de Raios - X (DRX) e ICr (Índice de Cristalinidade)

A Figura 3 ilustra o difratograma obtido por difração de raios-X para o pó de casca de coco verde *in natura* (PCCV) e pós-ativação alcalina/ácida aplicado a adsorção de níquel no resíduo de um processo de niquelagem (APCCV).

Figura 3 – Difratograma de raios-X para as amostras PCCV (a) e APCCV (b).



Fonte: O autor, 2019.

Para a amostra PCCV, pode ser observado na Figura 3a, que a estrutura física amorfa é predominante na região de varredura 2θ analisada (0° a 35°) em teste DRX, com apenas 1 pico de intensidade máxima (em unidades arbitrárias) em $22,58^\circ$, de difração da estrutura, estando em concordância com resultados encontrados na literatura (ARAÚJO, 2016; GONÇALVES, 2014). Este efeito pode ser explicado pela lignina e hemicelulose amorfas, pertencerem a composição da casca de coco verde, ou seja, a biomassa é rica em material lignocelulósico e, conseqüentemente, resulta em uma predominância da estrutura amorfa à cristalina (GONÇALVES, 2014).

Para a amostra APCCV evidencia-se que ocorreu modificação estrutural conforme verifica-se no DRX, conforme Figura 3b.

Para verificar o índice de cristalinidade foi utilizada a Equação 2.1 do índice de cristalinidade (Segal, 1959), com base nos valores de intensidade obtidos para os respectivos ângulos de $22,58^\circ$ e $18,7^\circ$ a partir do DRX (Figura 3). Esses valores são reportados na Tabela 1.

Tabela 1 – Índice de cristalinidade para o material lignocelulósico PCCV e do APCCV.

Tratamento/condição	ICr (%)
PCCV (<i>In natura</i>)	23,80
APCCV (Alcalino/Ácido)	14,40

Fonte: O autor, 2019.

Conforme apresentado na Tabela 1, os resultados do índice de cristalinidade foram 23,80 % para amostra PCCV e 14,40 % para a amostra APCCV, conforme a literatura Wei e Cheng (1985) e Guedes (2010), devido ao tratamento físico (redução de granulometria) aplicado a casca de coco verde e tratamento químico (ativação alcalina/ácida) aplicado ao pó de casca de coco verde. Consta-se uma redução no valor do índice de cristalinidade.

O tratamento físico aplicado a casca de coco verde, a moagem das cascas e redução da granulometria à faixa de 100-200 mesh, foi um dos interferentes na redução do teor de cristalinidade da celulose da biomassa. A moagem (corte da biomassa lignocelulósica em pequenos pedaços) é um pré-tratamento mecânico da lignocelulose. O objetivo deste pré-tratamento é a redução da dimensão das partículas e da cristalinidade. Este processo conduz a um aumento da superfície específica de contato disponível e uma redução do grau de polimerização (HENDRIKS & ZEEMAN, 2009).

O aumento da superfície de contato pela redução de granulometria também é favorável a adsorção de metais, como foi verificado por Pino (2005), Sousa (2007) e Oliveira (2010), que avaliaram sistemas de adsorção de metais pesados pela biomassa.

Um dos objetivos do pré-tratamento químico (ativação alcalina/ácida) é reduzir a cristalinidade do material lignocelulósico, o pré-tratamento alcalino, favorece a remoção da fração de lignina (TAHERZADEH & KARIMI, 2008).

O tratamento com NaOH diluído de materiais lignocelulósicos causa intumescimento, levando a um aumento na superfície interna, uma diminuição do grau de polimerização, uma

diminuição na cristalinidade da celulose, a separação das relações estruturais entre a lignina e a celulose, e rompimento da estrutura da lignina. Desse modo, estas reações ajudam a solubilizar e extrair lignina da biomassa (GUEDES, 2010). O pré-tratamento ácido está voltado, principalmente, para a remoção da hemicelulose presente na estrutura dos materiais lignocelulósicos aumentando, dessa forma, a acessibilidade das enzimas à celulose (SUN & CHENG, 2002).

Em Sousa (2007), que avaliou adsorção de níquel pela biomassa pó de casca de coco verde, o tratamento químico alcalino com NaOH 0,1 mol.L⁻¹/ 3h (a deslignificação), em pó de granulometria 60-99mesh, resultou numa superfície do material tratado composta de poros com faixa de diâmetro menor que o material natural, o que favoreceu uma melhor retenção dos íons metálicos, devido a uma maior área superficial de contato.

Esse tipo de pré-tratamento, com o hidróxido de cálcio (cal), amônia ou hidróxido de sódio (NaOH), visa especificamente quebrar as ligações dos grupos acetil da hemicelulose e éster-carboidratos da lignina, promovendo, assim, uma expansão da biomassa, de modo que a cristalinidade da celulose decresce, enquanto ocorre um incremento da superfície específica de contato e da porosidade da mesma. Sendo assim, estas reações ajudam a solubilizar e extrair lignina da biomassa (Sousa et al., 2009).

Segundo Sousa (2007), um tratamento químico com H₂O₂ 1,0M/3h aplicado a um pó de casca de coco verde resultou numa biomassa com capacidade de adsorção de 3,01 mg/g de Pb²⁺, 2,26 mg/g de Ni²⁺, 3,08 mg/g de Cd²⁺, 1,57 mg/g de Zn²⁺ e de 2,37 mg/g de Cu²⁺ das soluções de 1000 mg/L destes metais, enquanto que um tratamento químico com NaOH 1,0M/3h seguido de tratamento com solução tampão com valor de pH 5, resultou numa biomassa com maior capacidade de adsorção em quatro metais dos respectivos testes: 3,01 mg/g de Pb²⁺, 3,17 mg/g de Ni²⁺, 3,68 mg/g de Cd²⁺, 2,50 mg/g de Zn²⁺ e 2,64 mg/g de Cu²⁺, dentre eles o níquel se destaca como o metal mais adsorvido.

Diante das perspectivas apresentadas, o pó de casca de coco verde produzido e que passou por um tratamento químico semelhante ao destes autores que obtiveram eficiência na remoção de metais, está apto ao teste de adsorção de níquel em resíduo de niquelagem, visto que apresentou redução no índice de cristalinidade após tratamento químico e foi tratado com solução alcalina capaz de adsorver maior concentração de Níquel, comparado aos outros tratamentos que poderiam ser realizados e interferissem na cristalinidade do material (PINO, 2005; SOUSA, 2007; OLIVEIRA, 2010; ARAÚJO, 2016; WEI E CHENG, 1985; GUEDES 2010).

3.2 Espectrômetro de Fluorescência de Raios – X (FRX) e Teor de umidade

A avaliação da capacidade de adsorção do pó de casca de coco verde produzido e tratado quimicamente foi realizada pela determinação da composição mineral do pó in natura e do pó pré-tratado aplicado à um sistema de adsorção de níquel presente em resíduo de uma niquelagem (Tabela 2).

Tabela 2 – Caracterização físico-química do PCCV e do APCCV.

Composição (%)	PCCV (%)	APCCV (%)
K ₂ O	18,60	0,16
CaO	17,17	0,22
Na ₂ O	15,80	<LD
MgO	13,80	0,80
SO ₃	8,42	6,39
SiO ₂	8,19	0,77
Cl	6,32	0,16
P ₂ O ₅	6,00	0,47
Al ₂ O ₃	2,16	51,30
TiO ₂	1,52	<LD
Fe ₂ O ₃	1,33	0,26
NiO	<LD	39,03
CuO	0,12	0,15
ZnO	0,12	0,06

Legenda: *<LD: abaixo do limite de detecção.

Fonte: O autor, 2019.

A composição do pó de casca de coco verde in natura (PCCV) está em concordância com a composição apresentada na literatura pelos autores Silva (1999), Lira et. al. (2014) e Agrizzi (2017), contendo principalmente SiO₂, K₂O, CaO, P₂O₅, SO₃, Fe₂O₃, MnO, TiO₂, ZnO, CuO. Segundo Lira et. al. (2014) a casca de coco verde também apresenta Cr₂O₃, entretanto vale salientar que a composição da casca de coco verde depende muito da época do ano, quantidade de chuvas e solo de cultivo do coqueiro (ROSA, et. al. 2001; OLIVEIRA, 2010).

A casca de coco, apresentou composição natural dos coqueiros Cocos Nucifera (L) da família Arecaceae do Nordeste quando comparado ao pó de casca de coco verde produzido pela Embrapa do Ceará (SILVA, 1999; PINO, 2005; SOUSA, 2007; ROSA et. al., 2001; OLIVEIRA, 2010).

Nos resultados obtidos para a amostra PCCV, apresentados na Tabela 2, também pode-se observar a presença representativa dos elementos Cl (6,32%), K₂O (18,60%), MgO (13,80%), Na₂O (15,80%) e CaO (17,17%) espécies naturais presentes na casca de coco, que podem influenciar em processos de troca iônica. Observa-se também uma grande quantidade de silício, provavelmente devido á um grande conteúdo de SiO₂ (8,19%). o que implica em um material com uma boa resistência mecânica e um teor de cinzas considerável (PINO, 2005).

Os óxidos e seus referidos teores de concentração mássica, em função da análise técnica de FRX, de ZnO (0,12%), CuO (0,12%), PbO (0,07%), ZrO₂ (0,05%), foram considerados como impurezas pelo baixo teor de concentração na composição total.

Na amostra APCCV, observa-se nos resultados apresentados na Tabela 2, a redução na composição dos elementos de Cl (0,16%), K₂O (0,16%), MgO (13,80%), Na₂O (<LD) e CaO (0,22%) presentes naturalmente no pó de casca de coco pós-ativação alcalina/ácida, indicando uma possível troca iônica entre estes elementos na superfície das partículas após aplicação do tratamento químico.

A amostra APCCV, foi aplicada à um resíduo oriundo de processo de niquelagem com concentração de Níquel (Ni²⁺) de 10.938,0 mg/L, concentração elevada em redíduo específico de determinados processos industriais que são discutidos na literatura (SOUSA, 2007; BENVENUTI, 2012; GALLINDO, 2018).

O teor de umidade do PCCV é de 5 % e do APCCV de 18 %. A umidade foi determinada apenas para avaliar se foi alcançada a percentagem utilizada na literatura de 20 % para testes de adsorção de níquel e foi observada que apenas após a aplicação do tratamento químico, a umidade se aproxima de 20 % (SILVA, 1999; PINO, 2005; SOUSA, 2007).

Pode-se identificar íons de Ni²⁺ de 39,03 % na forma de NiO e na composição in natura a concentração de NiO foi abaixo do limite de detecção (<LD). Isto comprova a presença do níquel nas partículas do pó de casca de coco após o processo de adsorção, evidenciando a eficiência do processo.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados do teor de umidade do pó de côco verde in natura (PCCV) foi de 5 % e após ativação alcalina/ácida (APCCV) foi de 18%. Baseado nos resultados obtidos por DRX foi possível identificar estrutura amorfa como predominante nas duas amostras (PCCV e APCCV) e redução no índice de cristalinidade. A partir dos resultados obtidos por FRX verifica-se a presença do Ni na amostra ativada APCCV, indicando a eficiência do processo realizado.

5. REFERÊNCIAS

ABIR, Associação Brasileira das Indústrias de Refrigerantes e de Bebidas não Alcoólicas. Inovação na indústria amplia acesso à água de coco (reportagem de 26/02/2019). Disponível em: <<https://abir.org.br/inovacao-na-industria-amplia-acesso-a-agua-de-coco/>>. Acesso feito em: 05 de Julho de 2019.

ARAÚJO, C. K. C. Avaliação da influência de surfactantes químico e biológico na hidrólise enzimática da casca do côco verde após pré-tratamento ácido/alcalino e com peróxido de hidrogênio alcalino. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal (UFRN), 2016.

AGRIZZI, Tiago. Pirólise da casca de coco: estudo da cinética de volatilização e identificação dos produtos. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Espírito Santo, São Mateus, 2017.

BENVENUTI, T. Avaliação da eletrodialise no tratamento de efluentes de processos de eletrodeposição de níquel. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, 2012.

BEZERRA, F.C.; LIMA, A.V.R. dos; ARAÚJO, D.B.; CAVALCANTI JÚNIOR, A.T. Produção de mudas de *Tagetes erecta* em substratos à base de casca de côco verde. In: V Encontro Nacional sobre Substratos para Plantas (V ENSUB), Ilhéus, BA, p.130, 2006.

CABRAL, M. M. S.; ABUD, A. K. S.; ROCHA, M. S. R. S.; ALMEIDA, R. M. R. G.; GOMES, M. A. Composição da fibra da casca de côco verde in natura e após pré-tratamentos químicos. ENGEVISTA, V. 19, n.1, p. 99-108, 2017.

CARVALHO, A.C.P.P., BOMFIM, G.V., BEZERRA, F.C., AZEVEDO, B.M., VIANA, T.V.A., OLIVEIRA, K.M.A. Aclimatização de mudas micropropagadas de abacaxizeiro ornamental em função de distintos tipos de substratos. In: V Encontro Nacional sobre Substratos para Plantas (V ENSUB), Ilhéus, BA, p.132, 2006.

CHENG, G.; DUAN, X.; JIANG, Y.; SUN J.; YANG, S.; YANG, B.; HE, S.; LIANG, H.; LUO, Y. Modification of hemicellulose polysaccharides during ripening of postharvest banana fruit. *Food Chemistry*, n.115, p.43–47, 2009.

DENCE, C. W.; LIN, S. Y.; *Methods in Lignin Chemistry*. New York: Springer Verlag, 1992.

EUROMONITOR, a consultoria de mercado internacional. Disponível em: <<https://www.euromonitor.com/>>. Acesso feito em: 01 de Julho de 2019.

EWECHAROEN, A.; THIRAVETYAN, P.; NAKBANPOTE, W. Comparison of nickel adsorption from electroplating rinse water by coir pith and modified coir pith. *Chem. Eng. J.* 137, 181-188, 2008.

GALLINDO, 2018. Testes de desenvolvimento de niquelagem em escala laboratorial para fins de tratamento do resíduo por adsorção de níquel em pó de casca de coco verde. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Química Industrial) - Universidade Estadual da Paraíba. Centro de Ciências Exatas e da Terra, Campina Grande - PB, 2018.

GABALLAH, I.; KILBERTUS, G.; Elimination of As, Hg and Zn from synthetic solutions and industrial effluents using modified barks, In: Misra, M. (ed.), *Separation process: Heavy metals, ions and minerals*, The minerals, Metals & Materials Society, 1994.

GABALLAH, I.; GOY, D.; ALLAIN, E.; KILBERTUS, G.; THAURONT, J.; Recovery of copper through decontamination of synthetic solutions using modified barks, *Metallurgical and Materials Transactions B*, v. 28B, p. 13-23, 1997.

GABHANE, J.; PRINCE WILLIAM, S. P. M.; VAIDYA, A. N.; MAHAPATRA, K.; CHAKRABARTI, T. Influence os heating source on the efficacy of lignocellulosic pretreatment – A cellulosic ethanol perspective. *Biomass & Bioenergy*, v. 35, p. 96-102, 2011.

GOMES, L.M.B. Remoção do cádmio de soluções aquosas utilizando fibra de coco da baía visando o tratamento de efluentes, Tese de doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), 2000.

GONÇALVES, F. A.; RUIZ, H. A.; NOGUEIRA, C. C.; SANTOS, E. S.; TEIXEIRA, J. A.; MACEDO, G. R. Comparison of delignified coconuts waste and cactus for fuel-ethanol production by the simultaneous and semi-simultaneous saccharification and fermentation strategies. *Fuel*, v. 131, p. 66-76, 2014.

GUEDES, R. C. *Estudo da influência de pré-tratamentos de dois resíduos lignocelulósicos (Bagaço do pedúnculo de caju e casca de coco) utilizados como substrato na indução à síntese de enzimas celulolíticas*. 87 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Química, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal/RN, 2010.

HENDRIKS, A.T.W.M.; ZEEMAN, G. Pretreatments to enhance the digestibility of lignocellulosic biomass: a review. *Bioresource Technology*, n.100, p.10-18, 2009.

HUNT, S. Diversity of biopolymer structure and its potential for ion-binding applications, In:

Immobilization of Ions by bio -sorption , Ed. H. Eccles and S. Hunt, Ellis Horwood Limited publishers, 1986.

Instituto Adolfo Lutz (São Paulo). Métodos físico-químicos para análise de alimentos /coordenadores Odair Zenebon, Neus Sadocco Pascuet e Paulo Tiglea -- São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008 p. 1020.

JORNAL ESTADUAL DE MINAS. Reportagem: A sede por água de coco estimula produção brasileira. Divulgada em 11/04/2018. Disponível em: <https://www.em.com.br/app/noticia/internacional/2018/04/11/interna_internacional,950855/a-sede-por-agua-de-coco-estimula-producao-brasileira.shtml>. Acesso feito em: 01 de Julho de 2019.

LIMA, E.B.C; SOUSA, C.N.S; MENESES, L.N.; XIMENES, N.C.; SANTOS JÚNIOR, M.A.; VASCONCELOS, G.S.; LIMA, N.B.C.; PATROCÍNIO, M.C.A.; MACEDO, D.; VASCONCELOS, S.M.M. Cocos nucifera (L.) (Arecaceae): A phytochemical and pharmacological review. Brazilian Journal of Medical and Biological Research, v.48, n.11, p.953–964, 2015.

LIRA , J. O. B.; SILVA, K. C. G.; ANDERSEN, S. L. F. Estudo das características de combustão de resíduos sólidos da região nordeste utilizando análise termogravimétrica. Anais XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química (COBEQ), Florianópolis, Santa Caratina, 2014.

LUZARDO, M. H. Francisco; VELASCO, G. Fermin; ALVES, P. Clemildes; CORREIA, S. K. Ives; CAZORLA, L. Lázaro. Chemical characterization of agroforestry solid residues aiming its utilization as adsorbents for metals in water. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.19, n.1, p.77–83, 2015.

MAGALHÃES, P. H. Hugo; FERNANDES, A. Márcia; NEVES, Silva. Utilization of green coconut pericarp (Cocos nucifera L. - Arecaceae) to remove chromium (VI) ions residues in aqueous solutions. P erspectivas da Ciência e Tecnologia, v.3, n. ½, 2011.

MESQUITA, R. O.; LIMA, F.F.; BEZERRA, M.A.; BEZERRA, F.C.; Emergência e crescimento de plântulas de cajueiro anão precoce em substratos à base de pó de coco verde. In: V Encontro Nacional sobre Substratos para Plantas (V ENSUB), Ilhéus, BA, p.150, 2006.

KUMAR, P.S. Adsorption behavior of nickel(II) onto cashew nut shell: equilibrium, thermodynamics, kinetics, mechanism and process design. Chem. Eng. J. 167, 122-131, 2011.

OLIVEIRA, R. L. Simone. Aproveitamento da casca de coco verde (Cocos nucifera L.) para produção de celulases. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2010.

PANDA, G.C. Adsorption of nickel on husk of Lathyrus sativus: behavior and binding mechanism. Colloids Surf. B Biointerfaces v.57, p. 135-142, 2007.

PEREIRA, N.S.; BEZERRA, F.C.; ROSA, M. de F. Produção de mudas de quiabeiro

(*Abelmoschus esculentus* L. Moench) em substratos á base de pó de casca de coco verde. *Revista Horticultura Brasileira*, Brasília, v.22, n.2, p.358, 2004.

PINO, G. A. Biossorção de Metais Pesados Utilizando Pó da Casca de Coco Verde (*Cocos nucifera*). Dissertação de mestrado. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

RABELO, S. C.; FILHO, R. M.; COSTA, A. C. A Comparison between Lime and Alkaline Hydrogen Peroxide Pretreatments of Sugarcane Bagasse for Ethanol Production. *Applied Biochem Biotechnol*, v. 148, p.45–58, 2008.

RAVAL, Nirav P. Shah. Adsorptive removal of nickel(II) ions from aqueous environment: A review. *Journal of Environmental Management* v.179, p.1-20, 2016.

RODRIGUES, Sueli; PINTO, A.S. Gustavo; FERNANDES, A. N. Fabiano. Optimization of ultrasound extraction of phenolic compounds from coconut (*Cocos nucifera*) shell powder by response surface methodology. *Ultrasonics Sonochemistry*, v.15, p.95–100, 2008.

ROSA, M.F. *Caracterização do pó da casca de coco verde usado como substrato agrícola*. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2001. (Comunicado técnico, n. 54).

RUIZ, H. A.; RUZENE, D. S.; SILVA, D. P.; SILVA, F. F. M.; VICENTE, A. A.; TEXEIRA, J. A. Development and Characterization of an Environmentally Friendly Process Sequence (Autohydrolysis and Organosolv) for Wheat Straw Delignification. *Applied Biochem Biotechnol* v.164, p. 629–641, 2011.

SAEED, A.; AKHTER, M. W.; IQBAL, M.. Removal and recovery of heavy metal from aqueous solution using papaya wood as a new biosorbent. *Separation and purification technology*, v. 45, p. 25-31, 2005.

SAXENA, I. M.; BROWN, R. M., Jr. Biochemistry and molecular biology of cellulose biosynthesis in plants: prospects for genetic engineering. *Advances in plant biochemistry and molecular biology*. Austin: Elsevier, 2008. v.1, Capítulo 6, p.135-160.

SCHÄDEL, C.; BLÖCHL, A.; RICHTER, A.; HOCH, G. Quantification and monosaccharide composition of hemicelluloses from different plant functional types. *Plant Physiology and Biochemistry*, n.48, p.1–8, 2010.

SEGAL, L.; CREELY, J. J.; MARTIN Jr, A. E.; CONRAD, C. M. An Empirical Method for Estimating the Degree of Crystallinity of Native Cellulose Using the X-Ray Diffractometer. *Textile Research Journal*, p. 786-794, 1959.

SOUSA, W. Francisco. Adsorção de Metais Tóxicos em Efluente Aquoso Usando Pó da Casca de Coco Verde Tratado. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Ceará, Brasil, 2007.

SOUSA, L. C.; CHUNDAWAT, S. PS; BALAN, V.; DALE, B. E. ‘Cradle-to-grave’ assessment of existing lignocelluloses pretreatment technologies. *Current Opinion in Biotechnology*, n.20, p.339–347, 2009.

SILVA, Kaio; REZENDE, Luciana; SILVA, Cynthia; BERGAMASCO, Rosângela; GONÇALVES, Davana. Caracterização físico-química da fibra de coco verde para a adsorção de metais pesados em efluente de indústria de tintas. *ENGEVISTA*, V. 15, n. 1. p. 43-50, 2013.

SILVA, A. C. Reaproveitamento da casca de coco verde. *Revista Monografias Ambientais - REMOA* v.13, n.5, p.4077-4086, 2014. *Revista do Centro do Ciências Naturais e Exatas - UFSM*, Santa Maria.

SILVA, F. C. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia/ Rio de Janeiro: Embrapa Solos, Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 370 p., 1999.

SILVEIRA, E.B.; RODRIGUES, V.J.L.B.; GOMES, A.M.A.; MARIANO, R.L.R.; MESQUITA, J.C.P. Pó de coco como substrato para produção de mudas de tomateiro. *Horticultura Brasileira*, Brasília, v. 20, n. 2, p. 211-216, 2002.

SUDHA, R. Removal of nickel(II) from aqueous solution using citrus limettioides peel and seed carbon. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 117, 115-123, 2015.

SUN, Y.; CHENG, J. Hydrolysis of lignocellulosic materials for ethanol production: a review. *Bioresource Technology*, v. 83, p. 1-11, 2002.

TAHERZADEH, M. J.; KARIMI, K. Pretreatment of lignocellulosic wastes to improve ethanol and biogas production: a review. *International Journal of Molecular Sciences*, v.9, p.1621-1651, 2008.

UCHÔA, T. R. Avaliação de substratos a base de casca de coco moída para a produção de mudas de maracujazeiro. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agroecologia) - Universidade Estadual da Paraíba. Centro de Ciências Agrárias e Ambientais, Lagoa SECA - PB, 2013.

WEI, C. J.; CHENG, C. Y. Effect of hydrogen peroxide pretreatment on the structural features and the enzymatic hydrolysis of rice straw. *Biotechnology and Bioengineering*, v. 27, p. 1418- 1426, 1985.

YOSHIDA, M.; LIU, Y.; UCHIDA, S.; KAWARADA, K.; UKAGAMI, Y.; ICHINOSE, H.; KANEKO, S.; FUKUDA, K. Effects of Cellulose Crystallinity, Hemicellulose, and Lignin on the Enzymatic Hydrolysis of *Miscanthus sinensis* to Monosaccharides. *Biosci. Biotechnol. Biochem*, v.72, n.3, p. 805–810, 2008.