

CAPÍTULO 2

PURIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE BIOMATERIAIS DA REGIÃO OESTE DO PARÁ (AMAZÔNIA)



<https://doi.org/10.22533/at.ed.804112520032>

Data de aceite: 26/03/2025

Carla Suellem Sousa Araújo

Programa de Pós graduação em Sociedade, Ambiente e Qualidade de Vida, UFOPA, Santarém, Pará, Brasil

Renata de S. Nascimento

Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Universidade Federal do Pará, Brasil

Magno da Luz Sousa

Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Pará, Brasil

Jorge Luis Pagliarini

Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Pará, Brasil

Alessandro José Cristo dos Santos

Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Pará, Brasil

Marcelo de Oliveira Lima Júnior

Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Pará, Brasil

Rodolfo Augusto do Rosario Lira

Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Pará, Brasil

Caroline Pena Dias

Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Pará, Brasil

Bruno Apolo Miranda Figueira

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais, Instituto Federal do Pará, Brasil

Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Pará, Brasil

RESUMO: Biomateriais compreendem um importante grupo de materiais de baixo custo e propriedades exclusivas, que atualmente vem sendo aplicados em diversas áreas tecnológicas para proteção e despoluição do meio ambiente. Neste sentido, esse trabalho tem como objetivo a caracterização e purificação dos biomateriais cauixi e hidroxiapatita provenientes da Região Oeste do Pará. O monitoramento da eficiência de purificação foi feito através das técnicas de difração de raios-X (DRX), espectroscopia de infravermelho (FTIR), análise térmica (TG-DSC) e microscopia eletrônica de varredura (MEV). Os resultados revelaram que as matérias primas continham impurezas de

natureza orgânica que foram removidas após processos físico-químico de purificação como lixiviação ácida, calcinação, filtração e secagem, mostrando dessa forma que elas podem ser transformadas em produtos de valor agregado de interesse tecnológico e ambiental.

PALAVRAS-CHAVE: Biomaterial, cauixi, apatita, Amazônia, caracterização, purificação

INTRODUÇÃO

O Brasil é um país extenso territorialmente com as mais diversificadas características socioeconômicas e ambientais. Possui uma bacia hidrográfica composta por vários rios que abastecem diversas populações e são responsáveis por fomentar a economia. A pesca na região da Amazônia é a atividade econômica de maior impacto para a manutenção da vida das populações tradicionais, que utilizam seus recursos, tanto proteicos como fonte de segurança alimentar, quanto financeiros como fonte de renda oriunda de sua produção (CORREA, 2018)

O estado do Pará, apresenta um papel relevante em nível nacional como um grande produtor de pescado, isso se atribui a sua localização, um vasto território, disponibilidade hídrica e meio de escoamento da produção por meio dos rios. A Aquicultura, que é a produção de peixes em um ambiente aquático controlado, também vem crescendo a partir da década de 90. A América do Sul abriga uma diversificada fauna de peixes, sendo que, na Bacia Amazônia há um total de 2411 espécies de peixes, e 1045 são endêmicas dessa região. (REIS, 2016)

Com o aumento da produção do pescado, também há o aumento do número de resíduos gerados por meio dessa atividade. Com isso, pensa-se no reaproveitamento desses materiais que são despejados no meio ambiente. Esses resíduos apresentam grande quantidade de material orgânico que são despejados nos meios hídricos e, portanto, levam a contaminação dos lençóis freáticos. Além disso, a matéria orgânica oxidável despejada torna-se uma fonte de consumo para bactérias aeróbias, estas, para consumirem o material nas águas utilizam do oxigênio presente e diminuem a sua concentração, o que causa a morte de peixes e outros animais aeróbios. (SUCASAS, 2011)

Entre esses resíduos temos além da presença da matéria orgânica, a matéria inorgânica que é constituída de ossos de peixes, também chamados de espinhas. Os ossos são ricos em sua composição de um mineral denominado de hidroxiapatita. Ela é uma biocerâmica de fosfato de cálcio e principal constituinte dos ossos e dentes humanos, largamente empregada em atividades biomédicas pela sua elevada biocompatibilidade, bioatividade e capacidade de ligação óssea. Devido a essas características, a hidroxiapatita vem sendo alvo de estudos para o desenvolvimento de biocerâmicas, e as partes ósseas dos peixes são consideradas fontes promissoras desse material. (GUO, 2014; CHAI; TAGAYA, 2018).

Adicionalmente, um outro produto bastante interessante na região, que faz parte do mesmo ecossistema que os peixes, são as esponjas presentes nos rios Tapajós e Amazonas conhecidas popularmente como “cauixi”, que são animais aquáticos com um papel importante de filtração natural da água, mantendo assim uma limpeza das águas desses rios (RODRIGUES, 2017).

Esse biomaterial se caracteriza na região por sua presença nos rios e praias na forma de espícululas, que segundo (HAJDU; TEIXEIRA, 2011) são ricas em sílica amorfa, que normalmente são obtidas de forma comercial (tetraetilortossilicato-TEOS, silicatos de sódio, silicato de tetrametilâmônio -TMA-Silicato e sílica amorfa Waterglas, Areosil e Ludox) com elevado custo de produção, sendo que seu efeito tóxico ao meio ambiente estimula à busca por fontes alternativas deste produto Lacerda (2020).

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi a obtenção de hidroxiapatita e biosílica (Fig. 1) de matérias-primas da Amazônia após processos de purificação e caracterização mineral.

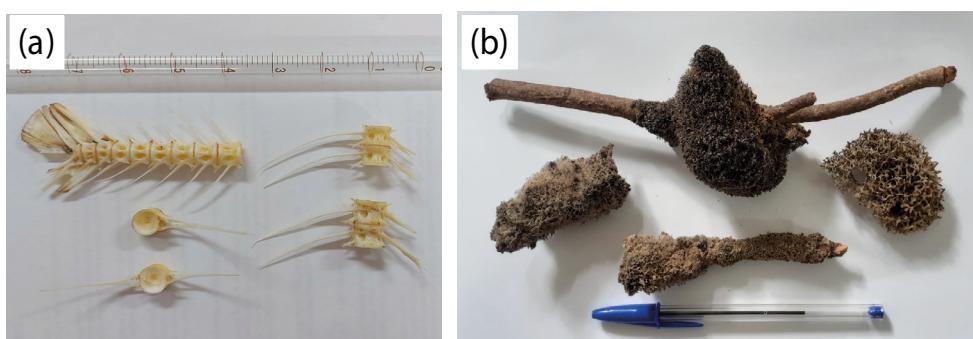


Fig. 1: Amostras de hidroxiapatita de espinhas de peixe de Tambaqui in natura (a) e biosílica de cauixi (b).

MATERIAL E MÉTODOS

Purificação dos biomateriais

Hidroxiapatita

Para a obtenção da hidroxiapatita, foram utilizadas espinhas de peixe da espécie *Collossoma macropomum*. A metodologia aplicada, baseou-se na extração de hidroxiapatita de escamas de pirarucu (*Arapaima gigas*), conforme descrito por Cavalcante (2019). Resíduos desse peixe foram coletados de feiras de pescado na cidade de Santarém – Pará, que após a coleta, iniciou-se a separação da parte orgânica da a partir do cozimento da amostra a 100°C para o desprendimento das partes moles serem realizadas de forma fácil. Após essa etapa, o material foi lavado e secado a temperatura ambiente por 48 horas. Parte do material foi pulverizado em grau e pistilo e acondicionado em recipiente para a posterior caracterização. A biocerâmica de hidroxiapatita foi obtida a partir da calcinação do material obtido anteriormente em elevadas temperaturas (200-900° C) por 1 h. Os produtos obtidos foram pulverizados e analisados por técnicas de caracterização.

Cauixi (biosílica)

As esponjas de água doce foram disponibilizadas pela Dr. Sheyla Regina Marques Couceiro, professora adjunta e bióloga da Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA), lotada no Instituto de Ciências e Tecnologia das Águas. Em relação ao Cauixi, primeiramente foi realizada a limpeza para remoção de resíduos superficiais, como galhos de árvores, folhas secas e areia. Parte desse material foi removido e acondicionado em recipiente para manter a amostra *in natura* para a realização dos tratamentos e análises posteriores. Para a obtenção do biomaterial foram realizados o método termal e a lixiviação. Assim, a esponja foi triturada *in natura* e acondicionada em cadinhos separados para a colocação em forno tipo mufla por um período de 1 hora em temperaturas que foram de 300°C a 900°C. No método de lixiviação foram utilizados alguns ácidos para a remoção do componente orgânico e impurezas das esponjas. 12 g de esponja e 160 ml de ácido nítrico (HNO_3) foram colocados em um Erlenmeyer e deixados sob agitação por 1 hora. Posteriormente, a solução foi filtrada e o sólido lavado com água deionizada. O resíduo foi seco em estufa a 100 °C por 24 horas. Após essa etapa, o material foi triturado e adicionados em 60 ml de solução de H_2SO_4 : H_2O_2 (2:1 v/v) e mantida sob agitação por 30 minutos em um Erlenmeyer. Decorrido esse tempo, a solução foi lavada novamente em água deionizada e o material sólido resultante da filtração foi seco em estufa a 100 °C por 24 horas. O material obtido foi triturado e então acondicionado em cadinho e calcinado a 600 °C por 4 h em forno tipo mufla. (BARROS, 2016).

Caracterização mineral

A técnica de difração de raios X (DRX) foi utilizada para identificação das fases minerais dos rejeitos e produtos sintéticos. Dessa forma, foi empregado um difratômetro de bancada D2 Phaser (Bruker). Este equipamento possui um goniômetro de varredura vertical e um tubo de cobre ($\text{CuK}\alpha = 1.5406 \text{ \AA}$) de 400 W de potência, com uma geometria de Bragg-Brentano no modo contínuo, velocidade de varredura de 0,25° /min, tendo como sistema de detecção um detector rápido modelo LynxEye. A tensão foi de 30 kV e 10mA, respectivamente. A identificação das fases foi feita através do programa HighScore X'pert (Panalytical).

Os espectros de infravermelho no médio (4000 a 400 cm^{-1}) foram obtidos utilizando-se pastilhas prensadas a vácuo contendo 0,200 g de KBr e 0,0013 g de amostra pulverizada e um espectrômetro de absorção molecular na região IV com transformada de Fourier da Bruker, modelo Vertex 70.

As curvas de TG e DTA foram obtidas num termoanalizador Stanton Redcroft que tem um forno cilíndrico vertical, com conversor digital acoplado a um microcomputador. As análises foram feitas em um cadinho de platina, com aquecimento de 20°C/min, temperatura inicial e final variando de 20°C a 1100°C, respectivamente.

Para os estudos de MEV e EDS as amostras foram pulverizadas e dispersas em suportes impregnados com grafite e metalizadas com ouro. Foram realizadas varreduras em todas as lâminas para a obtenção de imagens e análises químicas por EDS (espectroscopia

por dispersão de energia). O instrumento utilizado foi um microscópio da marca LEO-Zeiss, 430 Vp, em condições de análise utilizando imagens secundárias obtidas a 20 KV, com distância de trabalho de 11 mm.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Caracterização das matérias-primas

A caracterização inicial dos materiais de partida foi feita por difratometria de raios-X e os resultados são mostrados na figura 2.

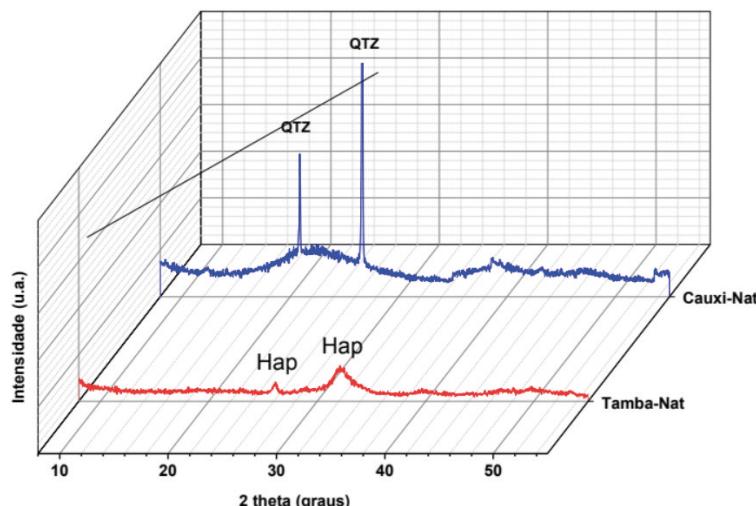


Figura 2: Padrão DRX das amostras naturais de cauxi (Cauxi-Nat) e de resíduos de peixe (Tamba-Nat). (HAP – hidroxiapatita; QTZ – quartzo)

Os resultados revelaram que a amostra Cauxi-Nat é caracterizada por picos em 20° e 26° (2 theta), que correspondem aos planos (100) e (101) da fase mineral do quartzo. O elevado background observado entre 15 e 30° (2 theta) indica a presença de fase amorfa de sílica semelhante aos resultados de Lacerda (2020) que mostrou um perfil DRX similar, característico de sílica amorfa. Estes resultados também estão de acordo com aqueles observados por Barros (2016) que caracterizaram amostras de esponjas coletadas de rios da região Amazônica. Em relação à amostra Tamba-Nat, seu perfil DRX mostra dois picos em 26,14 e 32° (2 theta) que podem ser bem correlacionados aos planos (002) e (211) do mineral hidroxiapatita (PDF 024-0033), uma fase comum em espinhas de peixe (Liu et al., 2013; Mu et al., 2018). A baixa definição e o alargamento dos picos são característicos deste mineral formado em ambientes naturais e de curto período, como observado por Cavalcante (2019), que caracterizou hidroxiapatita originada de espinhas do pirarucu (*Arapaima gigas*).

Uma caracterização espectroscópica complementar foi realizada por FTIR com o intuito de comprovar ou identificar as fases amorfas nas amostras naturais investigadas (Fig 3).

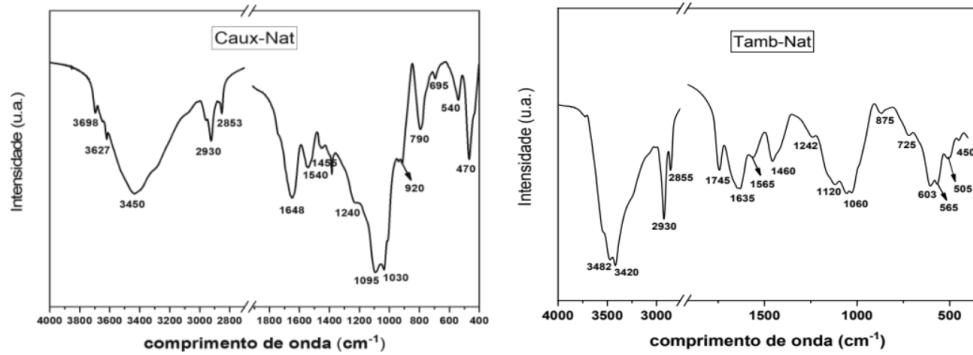


Figura 3: Espectros FITR de Caux-Nat e Tamb-Nat.

Para Caux-Nat, no intervalo de 4000-2000 cm⁻¹ foram observadas 5 bandas vibracionais que foram correlacionadas tanto à presença de biosilica, quanto de matéria orgânica. As duas primeiras bandas em 3693 e 3625 cm⁻¹, relacionam-se as vibrações de ligações superficiais O-H e Si-OH de ácidos húmicos presente na matéria orgânica (Dick, Santos e Ferranti, 2003). Enquanto que estiramentos vibracionais simétricos de ligações Si-O dos tetraedros SiO₄ na estrutura amorfa da bio-sílica foram identificados em 3450 cm⁻¹. As bandas em 2930 e 2853 cm⁻¹ se correlacionam bem com as vibrações de ligações C-H em grupos alifáticos dos ácidos húmicos, o que reforça a presença da fase orgânica. Na faixa de 1800-400 cm⁻¹, identificou mais de 11 bandas de estiramentos vibracionais. A banda em 1648 cm⁻¹ refere-se aos estiramentos C=C em anéis aromáticos da matéria orgânica, que também apresenta bandas de estiramento de ligações N-H (amida) em 1540 cm⁻¹, estiramentos assimétricos de ligações simples C-C de grupos -CH₂ e -CH₃ em 1455 cm⁻¹, bem como vibrações antissimétricas de C-O e O-H de grupos fenóis (-COOH) e álcoois (-COH) (Dick, Santos e Ferranti, 2003). As bandas em torno de 1095 e 1030 cm⁻¹ assinalam-se as vibrações assimétricas de ligações Si-O-Si de estruturas siloxanas oligoméricas (Bageru e Srivastava 2018). Bandas adicionais identificadas em 920, 790, 695 e 470 cm⁻¹, foram assinaladas as vibrações simétricas de ligações Si-O-Si dos grupos siloxanos e ligações de inflexão plana de O-Si-O na sílica amorfa (Bageru e Srivastava 2018; Jeong et al., 2025).

Em relação à Tamb-Nat, seu espectro apresenta quatro principais bandas na região de 4000-2500 cm⁻¹, que podem ser assinaladas aos modos de vibração de grupos O-H (3710 cm⁻¹) e moléculas de H₂O (3482 e 3420 cm⁻¹) na hidroxiapatita, assim como de vibrações de ligações C-H alifático (2930 e 2855 cm⁻¹) presente na matéria orgânica (ácidos graxos). Na faixa de 1800-400 cm⁻¹ se observa principalmente os grupos funcionais característicos da estrutura hidroxiapatita, CO₃²⁻, PO₄³⁻ e OH⁻. Por exemplo, as bandas em 1635, 1565, 1460 e 875 cm⁻¹ são diagnósticos de estiramentos simétricos e assimétricos de ligações C-O de grupos CO₃²⁻. Por outro lado, as bandas relacionadas ao grupo PO₄³⁻ estão presentes em 1120 cm⁻¹ (estiramento assimétrico), 1060, 600 e 565 cm⁻¹ (simétrico). A banda em 450 cm⁻¹ se refere ao estiramento OH⁻, enquanto que a banda em 1242 cm⁻¹ é típica de vibrações N-H presente em colágenos na estrutura cartilaginosa do peixe.

O comportamento termal das amostras de Caux-Nat e Tamb-Nat inicialmente foi monitorado por difratometria de raios-X e é apresentado na Fig. 4. Para a amostra Caux-Nat (Fig. 4a), ficou nítida a estabilidade do mineral quartzo, independente do aumento de temperatura, assim de biosílica amorfa. Mostrando assim, a permanecia das duas fases mesmo que à elevadas temperaturas. Por outro lado, para a amostra Tamb-Nat (Fig. 4b), observa-se que a forma de hydroxiapatita com baixo grau de cristalinidade se mantem até 600 °C, como pode ser identificado através do alargamento e baixa resolução dos picos entre 20 a 40° (2 theta). Acima de 700° C, o surgimento dos mais intensos picos a 10; 26; 29; 32,1; 32,55; 33; 34; 40; 47; 49; 50; 51; 52 e 53° (2 theta) indicou um aumento do grau de cristalinidade de apatita (PDF 024-0033), que se manteve sem impurezas acima de 900° C. Uma investigação complementar por analise TG-DSC de hidroxiapatita presente na amostra de tambaqui foi realizada (Fig. 4c). Uma perda total de aproximadamente 49 % foi observada. Os dois picos endotérmicos em 75 e 210° C, que totalizam uma perda de massa aproximada de 9,28 %, correspondem à perda de água superficial e decomposição de gordura e proteínas presentes na amostra, respectivamente (Ramirez-Gutierrez et al., 2017). A perda de massa de aproximadamente 27 % na curva TG com três picos endotérmicos a 325, 395 e 435 ° C na curva DTG são referentes a decomposição final e processo de combustão do material orgânico (colágeno) reportado anteriormente. O pico exotérmico em torno de 505 °C, com uma perda de massa de 8 % indica um intenso processo de descarbonatacao e formação de CO₂, assim como liberação de grupos OH-. O último pico próximo a 970° C relaciona-se a reação à contínua desidroxilação da estrutura com uma discreta perda de massa de 4,58 % (Tämäşan et al, 2013; Guo et al., 2013; Ramirez-Gutierrez et al., 2017; Barua et al, 2019).

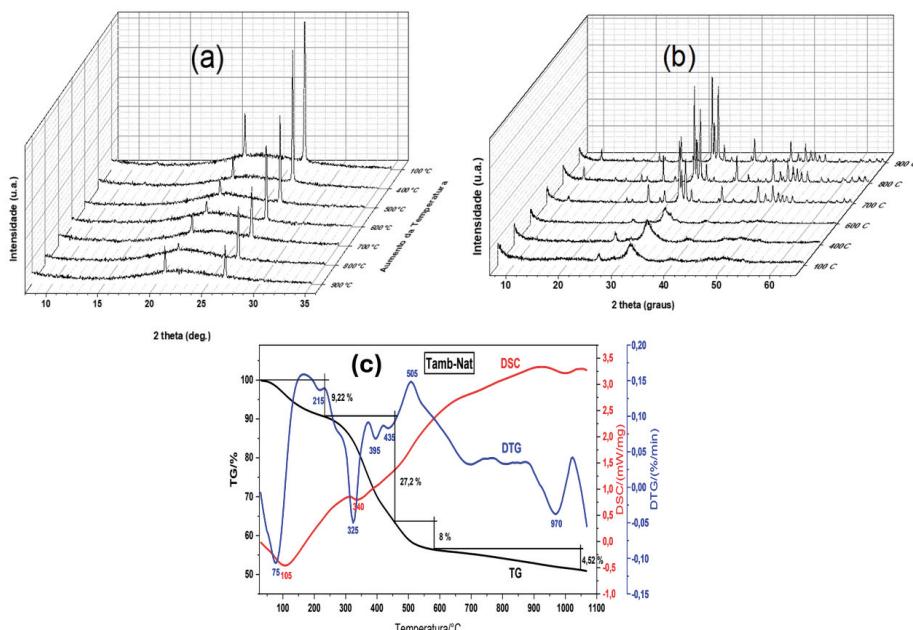


Figura 4: Padrão DRX das amostras Caux-Nat (a), Tamb-Nat calcinadas até 900° C (b) e Curva TG-DSC-DTG de Tamb-Nat (c).

Com o objetivo de confirmar a formação de hidroxiapatita e biosilica sem impurezas, a caracterização espectroscópica por FTIR de Tamb-Nat aquecida a 900° C e de Caux-Nat lixiviada e tratada termalmente a 600° C (Caux-Puri) foi realizada e os resultados são mostrados na Figura 5. Esta técnica é uma das mais recomendadas para identificar a presença ou ausência de fases amorfas. O espectro obtido para Cauxi-Puri, mostrou bandas a 3440 e 1630 cm⁻¹ que como já foi discutido anteriormente são referentes as vibrações de ligações Si-O e O-H em tetraedros SiO₄ e moléculas de água, respectivamente. As bandas em 1085, 920, 785 e 470 cm⁻¹ foram correlacionadas as vibrações de Si-O-Si na sílica amorfa, confirmando a presença dessa fase apesar dos tratamentos ácidos e termal. Não foram identificadas bandas de C-O da matéria orgânica presente no material de partida, confirmando assim, o êxito no processo de purificação da biosilica proveniente do cauixi natural. Para a amostra Tamb-Purifi, as principais bandas do espectro em 3410, 1450, 1100, 1050, 635, 600, 565 e 470 cm⁻¹ são referentes aos estiramentos simétricos e assimétricos de grupos O-H, CO₃²⁻ e PO₄²⁻ da estrutura de hidroxiapatita. Através desta análise também foi possível verificar a ausência de material orgânico proveniente de colágeno e ácido graxo que estavam presentes na matéria prima.

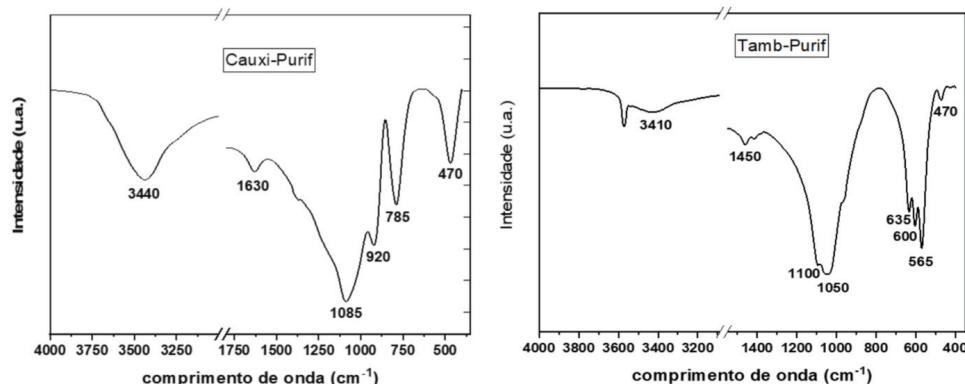


Figura 5: Espectros FTIR de Cauxi-Purif e Tamb-Purif.

A caracterização morfológica dos materiais de partida e seus produtos purificados foi realizada por microscopia eletrônica de varredura e mostrada na Fig. 6. Uma morfologia de agregados de espículas com tamanho médio de cristal em torno de 450 nm encobertos por material de finas partículas (Fig. 15 a), provavelmente relacionados a matéria orgânica descrita na caracterização espectroscópica por FTIR. Vale ressaltar que o tamanho médio observado neste estudo dessas espiculas em forma de bastão foi bem maior do que o valor de 127 nm reportado por Lacerda Jr. et al (2013). Para a amostra de cauixi purificada (Cauxi-Puri), verificou-se a presença das espiculas tendo comprimento médio de 150 nm, largura de 16,5 nm e diâmetro dos bastões de 23,43 nm.

Na análise de micrografia da amostra aquecida da espinha de tambaqui (Fig.15 c) podemos observar um arranjo estrutural de forma circular e esferoide que de acordo com Gomes (2007) é um arranjo característico da Hidroxiapatita. Elas apresentam dimensões pequenas e estão extremamente aglomeradas, além disso há irregularidades na superfície dos cristalinos, evidenciando uma nanoestrutura porosa. Lopes (2015) na sua síntese de Hap a partir dos reagentes ácido fosfórico e nitrato de cálcio diz que a hidroxiapatita apresenta uma estrutura com poros que a torna uma cerâmica importante para o uso como um biomaterial.

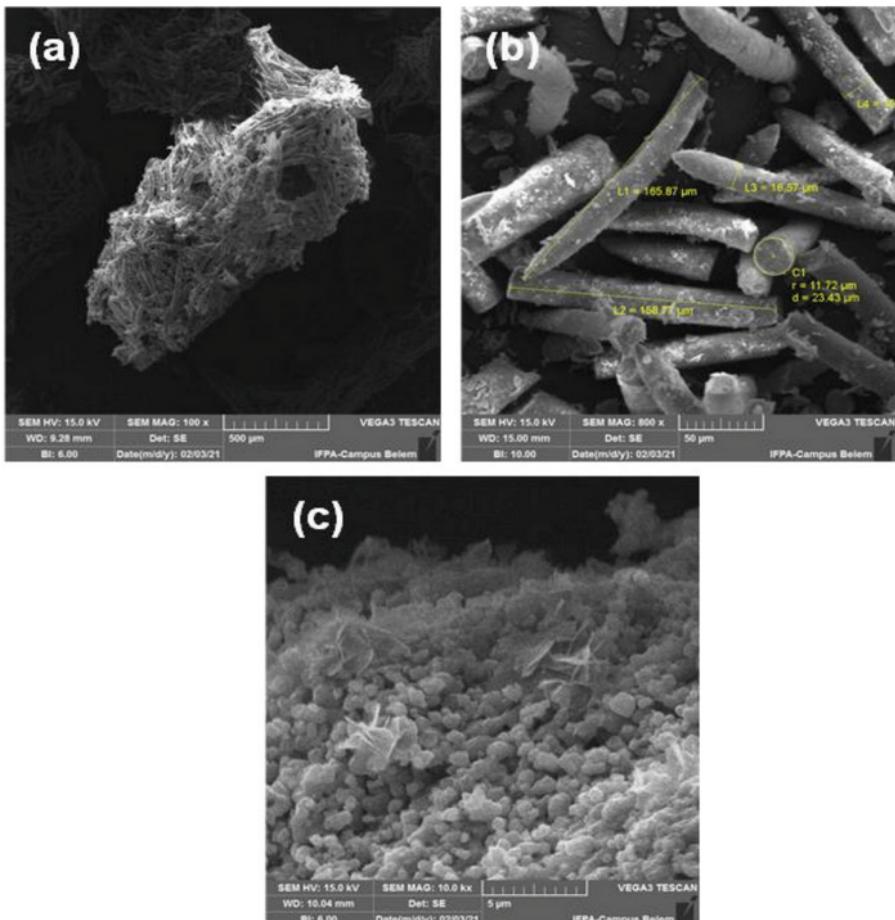


Fig. 15: Fotomicrografias obtidas por MEV das amostras Cauxi-Nat (a), Cauxi-Puri (b) e Tamb-Puri (c).

CONCLUSÃO

De acordo com os resultados obtidos e as caracterizações realizadas, pode-se inferir que as espinhas de peixe e o cauixi provenientes de praias da região de Santarém podem ser purificados com sucesso através das metodologias empregadas, mostrando dessa forma que elas podem ser transformadas em produtos de valor agregado de interesse tecnológico e ambiental de forma simples e rápida.

REFERÊNCIAS

- BARROS, I. B.; VOLKMER-R. C; VEIGA JUNIOR, V. F.; SILVA, C. C. **Extraction of High Purity Silica from Amazonian Sponges**. Journal of Bioprocessing & Biotechniques, p. 276, 2016.
- BAGERU, A.B., SRIVASTAVA, V.C. **Biosilica preparation from abundantly available African biomass Teff (*Eragrostis tef*) straw ash by sol-gel method and its characterization**. Biomass Conv. Bioref. 8, 971–978 (2018).
- BARUA, E., DAS, A., PAMU, D., DEOGHARE, A. B., DEB, P., LALA, S. D., & CHATTERJEE, S. **Effect of thermal treatment on the physico-chemical properties of bioactive hydroxyapatite derived from caprine bone bio-waste**. Ceramics International. 2019.08.023.
- CORREA, M. A. de A., et al. **A produção e a receita pesqueira como indicadores econômicos da pesca artesanal na Amazônia Central**. Revista Ciências da Sociedade (RCS), Vol. 2, n. 4, p.13-31, Jul/Dez 2018.
- CAVALCANTE, L. de A. **Desenvolvimento de biocerâmica porosa a partir da hidroxiapatita extraída de escamas de pirarucu (*Arapaima gigas*)**. 86 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2019.
- CHAI, Y.; TAGAYA, M. **Simple preparation of hydroxyapatite nanostructures derived from fish scales**. Materials Letters, v, 222, p, 156-159, 2018.
- DICK, D. P., SANTOS, J. H. Z., FERRANTI E. M. **Chemical characterization na infrared spectroscopy of soil organic matter from two Southern brazilian soils**. Revista Brasileira de Ciência do Solo. 2003, 27(1), 29-39.
- GOMES, J. F. P. et al. **Optimização da reacção de síntese de hidroxiapatita por precipitação aquosa**. Ciência e tecnologia dos materiais, v. 19, n° 3 / 4, p. 75- 82, 2007.
- GUO. Y.P.; LONG. T.; TANG. S.; GUO. Y. J.; ZHU. Z. A. **Hydrothermal fabrication of magnetic mesoporous carbonated hydroxyapatite microspheres: biocompatibility. Osteo inductivity. drug delivery property and bactericidal property**. J. Mater. Chem. B. 2 (19). p. 2899–2909. 2014.
- GUO, X., YAN, H., ZHAO, S., LI, Z., LI, Y., & LIANG, X. **Effect of calcining temperature on particle size of hydroxyapatite synthesized by solid-state reaction at room temperature**. Advanced Powder Technology, 24(6), 1034–1038. 2013.
- HAJDU, E.; TEIXEIRA, J. N. **New or little known demosponges (Porifera) from Espírito Santo coast and seamounts (Brazil)**. Zoologia (Curitiba), v. 28, n. 2, p. 233–246, abr. 2011.

JEONG, H.W.; PARK, K.T.; OH, S.M.; SHIM, S.E.; QIAN, Y. **Sustainable Reinforcement of Silicone Rubber: Comparative Analysis of Biosilica from Rice Husk and Conventional Silica.** Polymers 2025, 17, 406.

LACERDA JUNIOR, O.S. **Síntese do material mesoporoso MCM-41 usando esponja de água-doce.** Quim. Nova. Vol. 36, No. 9. 2020.

LACERDA JUNIOR, O. S. et al. **Síntese do material mesoporoso MCM-41 usando esponja de água-doce como fonte de sílica.** Quím. Nova, São Paulo, v. 36, n. 9, p. 1348-1353, 2013.

LIU Q, HUANG S, MATINLINNA JP, CHEN Z, PAN H. **Insight into biological apatite: physiochemical properties and preparation approaches.** Biomed Res Int. Epub 2013 Sep 1.

LOPES, J. R.; OLIVEIRA, J. A. C.; ESTEVES, A. A. **Síntese e caracterização de pós de hidroxiapatita [Ca₁₀(PO₄)₆(OH)₂] obtidas a partir do processo sol-gel.** Foco - Ano 6, 8 - janeiro/Junho 2015.

RAMIREZ-GUTIERREZ, C. F., LONDOÑO-RESTREPO, S. M., DEL REAL, A., MONDRAGÓN, M. A., & RODRIGUEZ-GARCÍA, M. E. **Effect of the temperature and sintering time on the thermal, structural, morphological, and vibrational properties of hydroxyapatite derived from pig bone.** Ceramics International, 43(10), 7552–7559, 2017.

REIS, R. E.; ALBERT, J. S.; DI DARIO, F.; MINCARONE, M. M., PETRY, P.; Rocha, L. A.; **Fish biodiversity and conservation in South America.** Journal of Fish Biology, v. 89, n. 1, p. 12-47, 2016.

RODRIGUES, I. M. M. VOLKMER-RIBEIRO, C. MACHADO, V. S. **Cauixi em cerâmica arqueológica da região de Lagoa Santa, Minas Gerais: inclusão de esponjas processadas ou exploração de depósitos sedimentares com espículas.** Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi. Ciênc. hum., Belém, v. 12, n. 1, p. 85-100, Jan. 2017.

SUCASAS, Lia Ferraz de Arruda. **Avaliação do resíduo do processamento de pescado para o desenvolvimento de co-produtos visando o incremento da sustentabilidade na cadeia produtiva.** 2011. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/64/64134/tde-03082011-145355>. Acesso em: 19 mar. 2025.

TÂMÂŞAN, M., OZYEGIN, L. S., OKTAR, F. N., & SIMON, V. **Characterization of calcium phosphate powders originating from Phyllacanthus imperialis and Trochidae Infundibulum concavus marine shells.** Materials Science and Engineering: C, 33(5), 2569–2577, 2013.