PONTOS QUÂNTICOS DE CARBONO NA DETECÇÃO DO miR-21-5p ASSOCIADO AO CÂNCER DE PÂNCREAS

Lívia Fernandes Nascimento, Ana Clara Cristófalo Cruz, Laura Teles Silveira Márcio Henrique Maranhão Maia, Kemer Neves Zuri

Colégio Técnico Antônio Teixeira Fernandes, Rua Paraibuna, 75, Centro -12245-020 - São José dos Campos – SP, Brasil. lyfnasci@gmail.com acristofalocruz@gmail.com laurasilveira.teles@gmail.com profmarciohem@gmail.com kemerzuri@gmail.com

Resumo

Este trabalho teve como objetivo investigar a aplicação de pontos quânticos de carbono (CQDs) na detecção do miR-21-5p, biomarcador associado ao adenocarcinoma ductal pancreático. Foi realizada uma revisão bibliográfica de estudos publicados entre 2016 e 2026, complementada por um questionário sobre o câncer de pâncreas e novas tecnologias diagnósticas. A proposta consiste na síntese hidrotérmica de CQDs co-dopados com nitrogênio e enxofre, funcionalizados com grupos carboxila e conjugados a uma sonda complementar ao miR-21-5p. A detecção será baseada na alteração da fluorescência após a hibridização, com avaliação de seletividade, limites analíticos e citotoxicidade. Os estudos analisados indicam que os CQDs apresentam baixa toxicidade, biocompatibilidade e propriedades ópticas favoráveis à detecção. Conclui-se que essa estratégia apresenta potencial para a identificação do miR-21-5p, embora sua aplicação ainda dependa de validação experimental e da associação com outros biomarcadores para maior especificidade.

Palavras-chave: Pontos quânticos. Câncer de pâncreas. miR-21-5p. Biomarcadores. Diagnóstico precoce.

Curso: Técnico em Química

Introdução

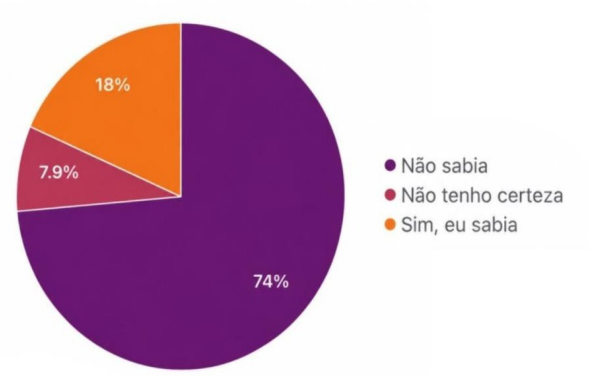
O câncer caracteriza-se pela multiplicação desordenada de células decorrente de alterações nos mecanismos de regulação do ciclo celular, podendo resultar na formação de tumores malignos (Oliveira *et al*., 2019). Entre as neoplasias, o adenocarcinoma pancreático destaca-se por sua elevada letalidade e pelo diagnóstico frequentemente realizado em estágios avançados, condição que dificulta o tratamento e contribui para as baixas taxas de sobrevida (Lima *et al*., 2021). A identificação precoce dessa neoplasia constitui um importante desafio, tornando necessária a busca por estratégias que favoreçam seu reconhecimento em fases iniciais. Esse desconhecimento também foi identificado no levantamento realizado com o público durante esta pesquisa: 74% dos participantes declararam não saber que o câncer de pâncreas costuma ser diagnosticado tardiamente devido à baixa especificidade dos sintomas iniciais (Figura 1), reforçando a relevância de se investigarem novas tecnologias de detecção precoce, como os pontos quânticos.

Nesse contexto, o desenvolvimento de novas tecnologias de detecção apresenta-se como uma alternativa relevante para o diagnóstico de alterações celulares associadas ao câncer. Entre essas tecnologias, destacam-se os pontos quânticos, estruturas nanométricas que apresentam propriedades ópticas particulares e podem ser empregadas na identificação e marcação de células.

Dessa forma, sua aplicação na detecção de biomarcadores associados ao câncer pancreático constitui uma possibilidade de investigação, especialmente diante da necessidade de métodos que contribuam para o reconhecimento mais preciso da doença em seus estágios iniciais.

Diante disso, este trabalho tem como objetivo avaliar os avanços tecnológicos e a acurácia dos pontos quânticos funcionalizados como marcadores fluorescentes no diagnóstico precoce do câncer de pâncreas. Busca-se, especificamente, avaliar a aplicabilidade de pontos quânticos de carbono na detecção de biomarcadores oncológicos circulantes e propor um biossensor fluorescente de pontos quânticos de carbono, obtidos por rota hidrotérmica, para a detecção do miR-21-5p.

Figura 1: Pergunta 5 - Você sabia que o câncer de pâncreas frequentemente é diagnosticado em estágios avançados devido à ausência ou a pouca especificidade dos sintomas nas fases iniciais?



Fonte: As autoras, 2026

Metodologia

A atual pesquisa foi desenvolvida por meio de uma revisão bibliográfica, com análise de artigos científicos relacionados ao câncer de pâncreas e à utilização de pontos quânticos no diagnóstico da doença. Foram priorizados trabalhos publicados entre 2016 e 2026, buscando utilizar estudos recentes e relevantes para o embasamento teórico da pesquisa.

A busca de artigos científicos foi realizada principalmente por meio do Google Acadêmico e National Library of Medicine, considerando publicações relacionadas aos pontos quânticos, ao diagnóstico do câncer de pâncreas e à aplicação de nanotecnologias na área biomédica. Além da pesquisa bibliográfica, foi desenvolvido um questionário por meio do Google Forms, com o objetivo de compreender o conhecimento do público sobre o câncer de pâncreas, seus métodos de diagnóstico e o uso de novas tecnologias (como os pontos quânticos), para auxiliar em sua detecção. Para a obtenção dos dados, os participantes não foram identificados, seguindo a Resolução nº 510/2016, que estabelece que pesquisas de opinião pública com participantes não identificáveis não exigem avaliação ética pelo Comitê de Ética em Pesquisa (CEP).

Resultados

Como analito de interesse, definiu-se o miR-21-5p, biomarcador associado ao adenocarcinoma ductal pancreático (Qu *et al*., 2017). O sistema amostral inicial será constituído por tampão fosfato-salino (PBS) em pH 7,4 (Alarfaj *et al.*, 2018), com transposição posterior para amostras de soro ou plasma.

O nanomaterial transdutor definido são pontos quânticos de carbono (CQDs), com dimensões entre 2 e 10 nm e morfologia esférica ou quase esférica (Kong *et al*., 2024). A obtenção das nanopartículas ocorrerá por meio da rota de síntese hidrotérmica (Yan *et al*., 2023; Nascimento, 2021), com co-dopagem de nitrogênio e enxofre, estratégia capaz de promover o deslocamento da emissão fluorescente para maiores comprimentos de onda, incluindo a região do vermelho (YAN et al., 2023).

A funcionalização superficial dos CQDs será realizada por meio de grupos carboxila (–COOH), utilizados como sítio de ancoragem para a conjugação com o biorreceptor (Anbalagan *et al*., 2024). Como elemento de reconhecimento biológico, será empregada uma sonda oligonucleotídica complementar ao miR-21-5p. A arquitetura do sistema será montada em solução, não fixada em eletrodo (Porciúncula et al., 2023). O sinal analítico corresponderá à alteração da intensidade de fluorescência dos CQDs decorrente da hibridização entre a sonda e o miR-21-5p (Ajgaonkar *et al*., 2022).

Os ensaios de leitura analítica serão realizados nas temperaturas de 25 °C e 37 °C, com tempo de incubação a ser determinado experimentalmente (Kong *et al.,* 2024). Os limites de detecção (LD) e de quantificação (LQ) serão calculados a partir dos critérios estatísticos de 3σ/S e 10σ/S, respectivamente (Alarfaj *et al*., 2018). Os ensaios de seletividade consistirão na exposição do sistema a microRNAs concorrentes, avaliação de mismatch único na sequência da sonda e testes frente a possíveis

interferentes biológicos. Por fim, a biocompatibilidade dos CQDs será avaliada por meio de ensaio de citotoxicidade in vitro pelo método colorimétrico do MTT (Esfandiari *et al.*, 2019).

Discussão

A escolha do miR-21-5p responde às limitações do CA19-9, marcador atualmente empregado na clínica, que apresenta níveis séricos normais em parte dos pacientes com a doença (Zhang *et al.*, 2024), enquanto o miR-21 figura entre os miRNAs mais expressos no soro de portadores de câncer de pâncreas, com sensibilidade de 0,7 e especificidade de 0,80 (Chen; Demirkhanyan; Gondi, 2024). Os pontos quânticos de carbono foram preferidos aos semicondutores, que se degradam em meio biológico liberando íons Cd^{2+} (Nascimento, 2021), por sua alta biocompatibilidade e baixa toxicidade (Kaurav *et al.*, 2023). A rota hidrotérmica é simples, barata e permite bom controle das nanopartículas, e a dopagem aumenta o rendimento quântico e cria na superfície os grupos que ancoram a sonda (Mohandoss, *et al.*, 2025). Soma-se a isso que a expressão de miRNA varia bastante entre amostras (Chen; Demirkhanyan; Gondi, 2024) e que o miR-21-5p não é exclusivo dessa neoplasia, o que indica maior utilidade em painel com outros marcadores.

Conclusão

Com este trabalho, foi possível concluir que os pontos quânticos de carbono são uma alternativa viável para detectar o miR-21, por reunirem baixa toxicidade, síntese acessível por rota hidrotérmica e resposta óptica adequada ao reconhecimento do alvo. Cada escolha feita apoia a seguinte, já que a dopagem com nitrogênio cria na superfície os grupos funcionais necessários para ligar a sonda, o que simplifica a construção do sistema. Conclui-se, ainda, que a proposta é teórica e que sua efetivação depende da execução experimental das etapas definidas aqui, principalmente da determinação dos parâmetros analíticos para o biomarcador escolhido.

Referências

AJGAONKAR, Ryan *et al.* Detection of Pancreatic Cancer miRNA with Biocompatible Nitrogen-Doped Graphene Quantum Dots. *Materials*, v. 15, n. 16, p. 5760, 2022. DOI: 10.3390/ma15165760. Disponível em: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9414703/. Acesso em: 23 ago. 2026.

ALARFAJ, Ahmed A.; EL-TOHAMY, Mohamed F.; ORABY, Eman A. CA 19-9 Pancreatic Tumor Marker Fluorescence Immunosensing Detection via Immobilized Carbon Quantum Dots Conjugated Gold Nanocomposite. *International Journal of Molecular Sciences*, v. 19, n. 4, p. 1162, 2018. DOI: 10.3390/ijms19041162. Disponível em: https://www.mdpi.com/1422-0067/19/4/1162. Acesso em: 13 jul. 2026.

ANBALAGAN, Amarnath Chellachamy *et al*. Bio-functionalized carbon dots for signaling immuno-reaction of carcinoembryonic antigen in an electrochemical biosensor for cancer biomarker detection. *Discover Nano*, v. 19, art. 37, 2024. DOI: 10.1186/s11671-024-03980-3. Disponível em: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10904696/. Acesso em: 12 jul. 2026.

CHEN, Clare; DEMIRKHANYAN, Lusine; GONDI, Christopher S. The Multifaceted Role of miR-21 in Pancreatic Cancers. Cells, v. 13, n. 11, p. 948, 30 maio 2024. Disponível em: https://www.mdpi.com/2073-4409/13/11/948. Acesso em: 23 ago. 2026.

ESFANDIARI, Neda et al. Effect of carbonization degree of carbon dots on cytotoxicity and photo-induced toxicity to cells. Heliyon, v. 5, n. 12, p. e02940, 2019. Disponível em: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6909074/. Acesso em: 12 jul. 2026.

KAURAV, Hemlata; VERMA, Dhriti; BANSAL, Amit; KAPOOR, Deepak N.; SHETH, Sandeep. Progress in drug delivery and diagnostic applications of carbon dots: a systematic review. Frontiers in Chemistry, v. 11, 2023. DOI: 10.3389/fchem.2023.1227843. Disponível em: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37521012/. Acesso em: 13 jul. 2026.

KONG, Jichuan *et al*. Carbon Quantum Dots: Properties, Preparation, and Applications. Molecules, v. 25, 2024. Disponível em: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11085940/. Acesso em: 11 jul. 2026.

LIMA, Alexandre Adler Viana; CORRÊA, Marcelo Fonseca; BRITO, Karin Juliane Pelizzaro Rocha. Câncer de pâncreas: uma revisão da epidemiologia, diagnóstico e tratamento. In: ENCONTRO INTERNACIONAL DE PRODUÇÃO CIENTÍFICA, 12., 2021, Maringá. Anais eletrônicos [...]. Maringá: UniCesumar, 2021. Disponível em: https://rdu.unicesumar.edu.br/bitstream/123456789/9011/1/Alexandre%20Adler%20Viana%2 0Lima.pdf. Acesso em: 14 ago. 2026.

NASCIMENTO, Keyte Nayara Silva. *Nanocompósitos de alginato/CdSe e carbon dots fluorescentes para aplicações em sensores.* 2021. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) — Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2021. Disponível em: https://ri.ufs.br/bitstream/riufs/15075/2/KEYTE_NAYARA_SILVA_NASCIMENTO.pdf . Acesso em: 10 jul. 2026.

MOHANDOSS, Sonaimuthu *et al*. A comprehensive review of multifunctional carbon quantum dots (CQDs): heteroatom, metal, and lanthanide doping for advanced sensing applications. Inorganic Chemistry Communications, 2025. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1387700325018167. Acesso em: 23 ago. 2026.

OLIVEIRA, Kamila dos Santos; OLIVEIRA, Patrícia de; ALMEIDA, Hendyara Oliveira Carvalho. Implicações do diagnóstico tardio para o prognóstico do câncer de pâncreas. Cadernos de Graduação: Ciências Biológicas e de Saúde Unit, Aracaju, v. 5, n. 3, p. 107-122, out. 2019. Disponível em: https://periodicos.grupotiradentes.com/cadernobiologicas/article/download/6811/3619/21727. Acesso em: 14 ago. 2026.

PORCIÚNCULA, Cleiton Bittencourt da *et al.* Avanços recentes em aplicações de biossensores. In: OLIVEIRA, Aline Mara; GUIMARÃES, Osvaldo Sena (org.). *Engenharia, Gestão e Inovação* – Volume 11. Belo Horizonte: Poisson, 2023. cap. 4, p. 50-110. DOI: 10.36229/978-65-5866-343-0.CAP.14. Disponível em: https://doi.org/10.36229/978-65-5866-343-0.CAP.14. Acesso em: 10 jul. 2026.

QU, Kai *et al.* Circulating miRNA-21-5p as a diagnostic biomarker for pancreatic cancer: evidence from comprehensive miRNA expression profiling analysis and clinical validation. *Scientific Reports*, v. 7, art. 1692, 2017. DOI: 10.1038/s41598-017-01904-z. Disponível em: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5431820/. Acesso em: 23 ago. 2026.

YAN, Jiaying et al. Facile synthesis of S, N-co-doped carbon dots for bio-imaging, Fe^{3+} detection and DFT calculation. Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy, v. 302, 2023, 123105. DOI: 10.1016/j.saa.2023.123105. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1386142523007904. Acesso em: 23 ago. 2026.

ZHANG, Deyu *et al.* Single-cell RNA sequencing reveals the process of CA19-9 production and dynamics of the immune microenvironment between CA19-9 (+) and CA19-9 (-) PDAC. Chinese Medical Journal, v. 137, n. 20, p. 2415-2428, 20 out. 2024. Disponível em: https://mednexus.org/doi/full/10.1097/CM9.0000000000003130. Acesso em: 14 jul. 2026.