

PROTOCOLO DE LIMPEZA DE PENAS DE AVES BASEADO EM HIDROGEL DE GOMA XANTANA: UMA ALTERNATIVA BIOTECNOLÓGICA AO DETERGENTE CONVENCIONAL

MARIANA BARROS DEUNER¹; KARINE LASTE MACAGNAN²; HELENA FERNANDES SCAGLIONI³; ISABEL SANTOS PEDONE⁴ LÍGIA FURLAN⁵; ANGELITA DA SILVEIRA MOREIRA⁶

¹Universidade Federal de Pelotas – marianabarros135@gmail.com

²Universidade Federal de Pelotas – karinemacagnan@hotmail.com

³Universidade Federal de Pelotas – helenascaglioni2004@gmail.com

⁴Universidade Federal de Pelotas – isabeltecalimentos@gmail.com

⁵Universidade Federal de Pelotas – ligia.furlan@gmail.com

⁶Universidade Federal de Pelotas – angelitadasilveiramoreira@gmail.com

1. DESCRIÇÃO DA INOVAÇÃO

A contaminação de ambientes aquáticos por corantes sintéticos representa uma ameaça crescente aos ecossistemas, com efeitos tóxicos sobre organismos aquáticos, incluindo potencial mutagênico e cancerígeno (Lellis et al., 2019). O petróleo, ao aderir às penas das aves, compromete a impermeabilização e o isolamento térmico, podendo ser letal mesmo em pequenas quantidades (O'Hara; Morandin, 2010). Metais pesados completam esse cenário, acumulando-se nas cadeias alimentares e causando danos mesmo em baixas concentrações (Leitão; Leitão, 2025). Casos recentes, como patos tingidos de azul por corante industrial em Jundiá/SP (G1, 2025), mais de 200 aves afetadas por derramamento no Mar Negro (ANDA, 2026) e 18 pinguins oleados no Centro de Recuperação de Animais Marinhos (CRAM) de Rio Grande/RS (GZH, 2026), evidenciam que a demanda por protocolos eficazes de limpeza de fauna é real e recorrente.

O presente trabalho propõe o uso de hidrogel de xantana pruni como protocolo alternativo de remoção de contaminantes de penas de aves. A xantana pruni é produzida por *Xanthomonas arboricola* pv. *pruni*, biopolímero cujo bioprocessamento foi patenteado (PI04063090) e cujo processo de modificação química por troca iônica foi depositado (BR1020210258004) pelo grupo de pesquisa da Universidade Federal de Pelotas (UFPel). A cepa se diferencia da xantana comercial obtida de *Xanthomonas campestris* por apresentar teores distintos de grupos piruvil e acetil, o que influencia diretamente sua capacidade de interação com contaminantes catiônicos (Borges et al., 2008; Borges; Moreira et al., 2008).

A produção envolve cultivo em meio sólido, transferência para inóculo líquido e fermentação em biorreator. A xantana é recuperada por precipitação com álcool 96%, seca, moída e hidratada em água destilada até formar um hidrogel, submetido à troca iônica com resina Amberlite IR 120 H⁺ (Sigma-Aldrich®) por duas horas sob agitação, convertendo os grupos carboxilato da forma sódica (COO⁻Na⁺) para a forma protonada (COOH). As penas contaminadas são imersas diretamente no hidrogel e o contaminante migra da superfície da pena para o gel: os grupos COOH liberam H⁺ e capturam cátions contaminantes, como corantes de carga positiva e íons metálicos (Njuguna; Schönherr, 2022). Não foram identificados na literatura estudos que avaliem essa aplicação em penas de aves, indicando o caráter potencialmente inovador do trabalho.

2. ANÁLISE DE MERCADO

O Brasil conta com 62 centros de triagem e reabilitação de animais silvestres (Mongabay, 2021), sendo 25 vinculados ao Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), que juntos atenderam mais de 60 mil animais em 2024, dos quais 72% foram aves (Portal Viggo, 2025). São esses centros o principal público-alvo desta inovação, junto a empresas de petróleo e gás com obrigações de resposta a emergências ambientais. O método atualmente utilizado nesses centros é o detergente sintético Dawn®, padrão internacional desde o derramamento do Exxon Valdez em 1989, que exige remoção completa de seus resíduos para que a impermeabilidade das penas seja restaurada, representando um processo longo e delicado (Finlayson et al., 2018). No Brasil, este detergente é importado e custa cerca de R\$175 por litro, e não foram identificadas, na prospecção preliminar realizada, soluções comerciais brasileiras baseadas em biopolímero, o que evidencia uma oportunidade de desenvolvimento tecnológico para esta proposta.

Em termos de mercado, o Mercado Total Endereçável (TAM) contempla centros de reabilitação e empresas com passivos ambientais em escala global. O Mercado Disponível que você pode atender (SAM) se restringe ao contexto brasileiro, com seus 62 centros e o setor de petróleo e gás nacional. O Mercado que você consegue conquistar (SOM), para uma primeira fase, são os centros da região Sul, em especial o CRAM de Rio Grande, parceiro natural da UFPel.

3. ESTRATÉGIA DE DESENVOLVIMENTO E IMPLEMENTAÇÃO

O protocolo está sendo desenvolvido no âmbito do trabalho de conclusão de curso (TCC) e tem como perspectiva o registro de patente junto ao Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI) ao término do desenvolvimento experimental. A xantana pruni produzida pela cepa de *X. arboricola* pv. *pruni* já possui patente concedida (PI04063090) e o processo de modificação química por troca iônica já tem patente depositada pelo grupo de pesquisa da UFPel (BR1020210258004), protegendo o material base; o protocolo de limpeza desenvolvido a partir desse material tem potencial de registro como nova patente. A comercialização poderá ocorrer por meio de licenciamento a empresas do setor de petróleo e gás, centros de reabilitação privados ou órgãos públicos, com parcerias viabilizadoras junto ao IBAMA, a Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) e o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

O projeto encontra-se no estágio TRL 2-3, com validação experimental em andamento. As etapas previstas são: (1) produção e modificação da xantana por troca iônica, já estabelecida; (2) validação da remoção de corante por espectrofotometria UV-Vis; (3) avaliação da remoção de petróleo e metais pesados e análise da integridade estrutural das penas, previstas para o TCC; e (4) testes com espécies silvestres reais em ambiente controlado, como etapa futura de pós-graduação. Os principais desafios envolvem a variação estrutural das penas entre espécies e a adaptação do protocolo para condições reais de campo, mitigados de forma progressiva à medida que os resultados forem consolidados.

4. RESULTADOS ESPERADOS E IMPACTO

Os ensaios preliminares foram conduzidos com penas de patos brancos contaminadas com solução de azul de metileno a 10 ppm, imersas no hidrogel de xantana em três concentrações (0,5%, 1% e 2%) por até 120 minutos. A quantificação foi realizada por espectrofotometria UV-Vis no aparelho UV-1900i da

marca Shimadzu a 665 nm. A curva de calibração construída com soluções de azul de metileno de 1 a 10 ppm apresentou linearidade satisfatória ($Abs = 0,098 \times ppm + 0,068$; $R^2 = 0,997$), sendo utilizada para converter os valores de absorbância em concentração.

A Tabela 1 apresenta as concentrações de azul de metileno detectadas no hidrogel após subtração do controle negativo (xantana sem corante) para cada condição e tempo de contato, incluindo o controle sem troca iônica.

Tabela 1. Concentração (ppm) de azul de metileno adsorvido pelo hidrogel de xantana em função do tempo de contato (min).

Concentração do hidrogel (%)	Tempo de contato (min)			
	15	30	60	120
Controle	NT	NT	$0,001^{Bb} \pm 0,000$	$0,090^{Ac} \pm 0,001$
0,5	$0,432^B \pm 0,029$	$0,446^B \pm 0,115$	$0,614^{Aa} \pm 0,022$	$0,614^{Aa} \pm 0,007$
1,0	-	-	-	$0,158^{Bb} \pm 0,079$
2,0	-	-	-	-

*Traços indicam interferência do biopolímero na leitura espectrofotométrica, impossibilitando quantificação confiável. NT = não testado. Controle = solução de xantana 0,5% sem troca iônica, avaliado apenas nos tempos mais informativos (60 e 120 min). Letras maiúsculas e minúsculas diferentes indicam diferença estatística entre linhas e colunas, respectivamente, pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Fonte: Dados da pesquisa (2026).

De modo geral, o hidrogel de xantana na concentração de 0,5% apresentou os maiores valores de concentração de azul de metileno detectados, com aumento de 0,432–0,446 ppm nos primeiros 30 min para 0,614 ppm aos 60 e 120 minutos, indicando maior retenção do corante com o aumento do tempo de contato e tendência à estabilização após 60 min. O banho pós-tratamento com água morna (400 mL) apresentou 0,092 mg de corante residual, estimando-se que o hidrogel foi responsável por aproximadamente 60% da remoção total. As concentrações de 1% e 2% apresentaram alto background de absorbância do biopolímero, inviabilizando a quantificação.

O controle, conduzido apenas a 0,5% por ser a única concentração com resultados quantificáveis, adsorveu aproximadamente 6 vezes menos corante que a forma protonada em 120 min e não apresentou adsorção detectável em 60 min. Isso confirma que a troca iônica, conversão dos grupos $-\text{COO}^- \text{Na}^+$ para $-\text{COOH}$, é o mecanismo determinante na adsorção, e não uma interação física inespecífica com o gel. Observou-se coloração azul residual nas penas após o tratamento, indicando que a remoção completa não foi atingida nos parâmetros testados, apontando para a necessidade de otimização do tempo de contato e do número de ciclos de imersão nas etapas seguintes do TCC.

5. CONCLUSÕES

O hidrogel de xantana pruni desponta como uma solução inovadora e sustentável: removeu aproximadamente 60% do corante azul de metileno das penas de aves, restando coloração residual que aponta para otimização nas próximas etapas. Pioneiro e baseado em um bioprocessamento patenteado pelo próprio grupo de pesquisa, o protocolo reúne forte potencial científico, de inovação

tecnológica e de patenteamento no INPI. Pesquisadores, parceiros institucionais e órgãos de fomento como a FINEP e o CNPq são convidados a impulsionar essa tecnologia, que responde a uma demanda ambiental real e recorrente.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDA. **Mais de 200 aves foram encontradas mortas ou feridas na costa russa do Mar Negro após vazamento de petróleo.** Agência de Notícias de Direitos Animais, 2026. Acessado em 16 set. 2026. Online. Disponível em: <https://anda.jor.br/mais-de-200-aves-foram-encontradas-mortas-ou-feridas-na-costa-russa-do-mar-negro-apos-vazamento-de-petroleo>

BORGES, C.D.; VENDRUSCOLO, C.T.; MOREIRA, A.S.; ZANATTA, A.; VENDRUSCOLO, J.L. Thermal treatment and properties of xanthan produced by *Xanthomonas arboricola* pv *pruni* strain 106. **Carbohydrate Polymers**, Amsterdam, v.73, n.1, p.84-90, 2008.

BORGES, C.D.; MOREIRA, A.S.; VENDRUSCOLO, C.T.; AYUB, M.A.Z. Influence of agitation and aeration in xanthan production by *Xanthomonas campestris* pv *pruni* strain. **Revista Argentina de Microbiología**, Buenos Aires, v.40, n.2, p.81-85, 2008.

Marine Pollution Bulletin, Oxford, v.126, p.137-140, 2018.

G1. **Patos e gansos são tingidos de azul após caminhão com carga de corante tombar e derramar produto químico em córrego.** G1, 13 mai. 2025. Acessado em 16 set. 2026. Online. Disponível em: <https://g1.globo.com/sp/sorocaba-jundiai/noticia/2025/05/13/patos-e-gansos-sao-tingidos-de-azul-apos-caminhao-com-carga-de-corante-tombar-e-derramar-produto-quimico-em-corrego.ghtml>

GZH. **Após sete anos sem registros, pinguins cobertos por óleo voltam a mobilizar centro de recuperação em Rio Grande.** Gaúcha ZH, 2026. Acessado em 16 set. 2026. Online. Disponível em: <https://gauchazh.clicrbs.com.br/zona-sul/geral/noticia/2026/06/apos-sete-anos-sem-registros-pinguins-cobertos-por-oleo-voltam-a-mobilizar-centro-de-recuperacao-em-rio-grande-cmq5bgzlg002y0173w2d8o6tr.html>

MONGABAY. **A luta diária dos centros de atendimento à fauna silvestre no Brasil.** Mongabay Brasil, 2021. Acessado em 16 set. 2026. Online. Disponível em: <https://brasil.mongabay.com/2021/10/a-luta-diaria-dos-centros-de-atendimento-a-fauna-silvestre-no-brasil/>

MOREIRA, A.S.; VANDRUSCOLO, C.T.; MACAGNAN, K.L.; FURLAN, L.; OLIVEIRA, M.P. de; KLAIC, P.M.A. **Processo de obtenção de xantana insolúvel, xantana insolúvel obtida e usos da mesma.** Depositante: Universidade Federal de Pelotas. BR n. 1020210258004 A2. Depósito: 20 dez. 2021. Publicação: 20 jun. 2023.

NJUGUNA, D.G.; SCHÖNHERR, H. Smart and regeneratable xanthan gum hydrogel adsorbents for selective removal of cationic dyes. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, Amsterdam, v.10, n.3, p.107620, 2022.

O'HARA, P.D.; MORANDIN, L.A. Effects of sheens associated with offshore oil and gas development on the feather microstructure of pelagic seabirds. **Marine Pollution Bulletin**, Oxford, v.60, n.5, p.672-678, 2010.

PORTAL VIGGO. **Pará ganha seu primeiro Centro de Triagem de Animais Silvestres do Ibama.** Portal Viggo, 2025. Acessado em 16 set. 2026. Online. Disponível em: <https://www.portalviggo.com/noticia/1417/belem/brasil-e-mundo/para-ganha-seu-primeiro-centro-de-triagem-de-animais-silvestres-do-ibama.html>

VANDRUSCOLO, C.T.; MOREIRA, A.S. **Processo de produção de biopolímero tipo xantana, biopolímero obtido, seus usos, meio de cultura para crescimento de *Xanthomonas* e uso da mesma para produção de biopolímero.** Depositante: Universidade Federal de Pelotas. BR n. PI04063090. Depósito: 5 nov. 2004. Concessão: 25 jul. 2017.